



Universidad
Carlos III de Madrid

Departamento de Ingeniería Mecánica

PROYECTO FIN DE CARRERA

DISEÑO DE APLICACIÓN INFORMÁTICA PARA DOCENCIA EN DIAGNOSIS DE DEFECTOS EN RODAMIENTOS

Autor: ARTURO CANO BREA

Tutor: HIGINIO RUBIO ALONSO

Leganés, Noviembre de 2011

Título: Diseño de aplicación informática para docencia en diagnosis de defectos en rodamientos.

Autor: Arturo Cano Brea

Director: Higinio Rubio Alonso

EL TRIBUNAL

Presidente: _____

Vocal: _____

Secretario: _____

Realizado el acto de defensa y lectura del Proyecto Fin de Carrera el día __ de _____
20__ en Leganés, en la Escuela Politécnica Superior de la Universidad Carlos III de
Madrid, acuerda otorgarle la CALIFICACIÓN de

VOCAL

SECRETARIO

PRESIDENTE

Agradecimientos

Deseo agradecer a todas las personas que incluso sin saberlo, me han ayudado a llegar hasta este punto. El camino no ha sido ni mucho menos fácil pero lo importante es que ha llegado, gracias al propio esfuerzo y a los ratos de charlas y risas con los compañeros que te ayudan a evadir las preocupaciones por unos instantes.

Agradecer a mi familia por su apoyo que aunque sé que les hubiera gustado poder ayudarme más, me ha servido mucho más de lo que se imaginan, con solo saber que se sienten orgullosos de lo que hago.

Especial mención para mi novia Noelia, que tantas horas ha estado a mi lado durante la carrera, levantándose cuando más bajo me sentía, aguantando mi mal humor cuando las cosas no me salían bien o tantas que cosas que no caben en estas pocas líneas.

Por supuesto no quiero olvidarme de mi tutor Higinio, por su ayuda y dedicación más allá incluso del mero deber profesional, espero que no tenga que aguantar alumnos tan pesados como yo hasta las 9 de la noche.

A todos muchísimas gracias.

Resumen

Este proyecto fin de carrera se centra en la gran importancia de los rodamientos en los sistemas mecánicos. Se ha realizado un modelado del banco de ensayo de vibraciones en rodamientos, perteneciente a la Universidad Carlos III de Madrid, denominado BR-2, con el fin de utilizarlo como modelo virtual para futuros estudios de mejora.

Para dicho modelado se ha empleado el paquete de software de CAD/CAM/CAE 3D paramétrico e integrado, denominado Pro Engineer Wildfire 5.0, en el que se realizó el modelado de todos los elementos que componen el sistema, se han realizado animaciones cinemáticas y el explosionado de subsistemas.

A partir de este modelado detallado del banco, se ha realizado también una aplicación didáctica, que pretende servir de herramienta de aprendizaje orientada a posibles prácticas con este banco, que muestren las capacidades, utilidad e importancia de este tipo de ensayos. En esta aplicación no sólo se muestran todos los subsistemas del banco y su funcionamiento, sino también una introducción teórica a todo lo que rodea a este tipo de ensayos como son las vibraciones, los rodamientos, el mantenimiento, etc.



Abstract

This degree Project is based in the great importance of the bearings for the mechanical systems. For this reason has been created a didactic application in order to train the students in the defects diagnosis through the vibration analysis. Through this application are followed all the bench test subsystems and its operating as well as a theoretical introduction around this knowledge kinds necessities for the correct management of this system.

In this document is explained the information obtained in the application, which is using to develop the training process above mentioned. In order to contribute a visual reinforcement and help for the student to get a better knowledge about the bench test (before and during the system handling) has been realized a modelling of the vibration bench test in bearings. Currently, this bench test, denominated BR-2, is located in the Universidad Carlos III, Madrid.

For the modelling of the different system elements has been used the parametric and integrated CAD/CAM/CAE 3D Software Pack, denominated Pro Engineer Wildfire 5.0. As well as the realization cinematic animations and subsystems exploded.



Índice general

Contenido

1. INTRODUCCION	1
1.1. AMBIENTACION DEL PROYECTO	3
1.2. OBJETIVOS	5
1.3. FASES	6
1.4. ESTRUCTURA DEL DOCUMENTO	7
2. RODAMIENTOS	9
2.1. INTRODUCCION	10
2.1.1. TERMINOLOGIA DE LOS RODAMIENTOS	11
2.2. CRITERIOS DE SELECCIÓN DE RODAMIENTOS	14
2.3. CARACTERISTICAS DE LOS RODAMIENTOS	22
2.3.1. LOS MATERIALES DE FABRICACION	24
2.4. TIPOS DE RODAMIENTOS	25
2.4.1. SEGÚN LA DIRECCIÓN DE LA CARGA	25
2.4.2. SEGÚN LA RIGIDEZ DEL RODAMIENTO	26
2.4.3. SEGÚN EL ELEMENTO RODANTE	27
2.5. RODAMIENTOS PARA CONDICIONES ESPECIALES	40
2.5.1. RODAMIENTOS HÍBRIDOS	40
2.5.2. RODAMIENTOS CON AISLANTE	41
2.5.3. RODAMIENTOS PARA ALTAS/BAJAS TEMPERATURAS	42
2.5.4. RODAMIENTOS CON SOLID OIL	43
2.5.5. RODAMIENTOS DE MATERIAL POLIMÉRICO	44
2.5.6. RODAMIENTOS CON SENSORES	45
2.6. DEFECTOLOGÍA EN RODAMIENTOS	46
2.6.1. DESGASTE	48
2.6.2. MUESCAS	50
2.6.3. ADHERENCIAS	53
2.6.4. FATIGA SUPERFICIAL	56
2.6.5. CORROSIÓN	57
2.6.6. AVERÍA PRODUCIDA POR PASO DE CORRIENTE ELÉCTRICA	60
2.6.7. DESCONCHADO O DESCASCARILLADO	62
2.6.8. GRIETAS	66
2.6.9. AVERÍA DE LA JAULA	68
2.7. COMPORTAMIENTO VIBRATORIO DE LOS RODAMIENTOS CON DEFECTOS LOCALIZADOS	71
2.7.1. FRECUENCIAS ROTACIONALES	73
2.7.2. ESPECTRO DE DEFECTOS	76
2.7.3. EVOLUCION ESPECTRAL DEL DESARROLLO DE LOS DEFECTOS	78
2.8. CINEMATICA DE LOS RODAMIENTOS	82



2.8.1.	INTRODUCCION.....	82
2.8.2.	REPARTO DE CARGAS.....	84
2.8.3.	PARÁMETROS.....	90
2.8.4.	COMBINACIÓN DE CARGAS.....	99
3.	VIBRACIONES	100
3.1.	INTRODUCCION	101
3.1.1.	CONCEPTO DE VIBRACION.....	101
3.1.2.	¿QUÉ ES UN ONDA?.....	102
3.1.3.	REPRESENTACION DE UNA ONDA.....	102
3.1.4.	MODELO MECANICO.....	104
3.1.4.1.	SISTEMAS DE 1 GRADO DE LIBERTAD.....	105
3.1.5.	REPRESENTACION DE LAS VIBRACIONES.....	107
3.1.6.	EJEMPLOS DE SEÑALES TÍPICAS.....	108
3.2.	CLASIFICACION DE VIBRACIONES MECANICAS.....	109
3.2.1.	¿CÓMO PODEMOS CLASIFICARLAS?.....	109
3.2.2.	VIBRACIONES LIBRES SIN AMORTIGUAMIENTO.....	111
3.2.3.	VIBRACIONES LIBRES CON AMORTIGUAMIENTO.....	112
3.2.4.	VIBRACIONES FORZADAS SIN AMORTIGUAMIENTO.....	117
3.2.5.	VIBRACIONES FORZADAS CON AMORTIGUAMIENTO.....	118
3.3.	RELACIÓN VIBRACION DEFECTO	119
3.3.1.	VIBRACION, CONSECUENCIA Y HERRAMIENTAS.....	119
3.3.2.	¿POR QUÉ EL DOMINIO DE FRECUENCIA?.....	121
3.4.	PROCESOS DE DIAGNOSIS DE DEFECTOS.....	122
3.4.1.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS. ESPECTRO DE LA ENVOLVENTE.....	123
3.4.2.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS. CEPSTRUM.....	124
3.4.3.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS. "SPYKE ENERGY"	125
3.4.4.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS. ESPECTRO DE POTENCIA	125
3.5.	COMPONENTES Y FRECUENCIAS DE DETERIORO.....	126
3.5.1.	VIBRACIONES POR DEFECTOS EN RODAMIENTOS.....	126
3.5.2.	HOLGURAS.....	128
3.6.	FASES DE DETERIORO EN RODAMIENTOS.....	129
3.6.1.	BANDAS DE FRECUENCIA	131
3.7.	EL MANTENIMIENTO DE SISTEMAS MECÁNICOS.....	132
3.7.1.	CONCEPTO DE MANTENIMIENTO.....	132
3.7.2.	TIPOS DE MANTENIMIENTO.....	132
4.	EL BANCO DE ENSAYO	139
4.1.	INTRODUCCIÓN	141
4.1.1.	¿QUÉ ES Y PARA QUÉ SIRVE?.....	141
4.1.2.	CONDICIONES DE DISEÑO DE LOS BANCOS DE ENSAYOS.....	141
4.1.3.	OTROS EJEMPLOS DE BANCO DE ENSAYOS.....	144
4.2.	DESCRIPCIÓN DE LOS SUBSISTEMAS DEL BANCO.....	146
4.2.1.	EL SUBSISTEMA MOTOR.....	146
4.2.2.	EL SUBSISTEMA DE TRANSMISIÓN	147
4.2.3.	EL SUBSISTEMA ESTRUCTURAL	147
4.2.4.	SUBSISTEMA DE CARGA	147



4.2.5.	SUBSISTEMA DE MEDIDA	149
4.3.	ENSAYOS EN ELBANCO	154
4.3.1.	DISEÑO DE LOS ENSAYOS	154
4.4.	MODELADO BANCO DE ENSAYOS	159
4.4.1.	CARACTERISTICAS. PRO ENGINEER WILDFIRE5	159
4.4.2.	MODULOS FUNCIONALES DE PRO ENGINEER	165
4.4.3.	EL MODELADO DEL BANCO DE ENSAYOS	169
5.	APLICACIÓN DIDACTICA.....	176
5.1.	INTRODUCCIÓN	178
5.2.	ESTRUCTURA DE LA APLICACIÓN.....	179
5.2.1.	SECCIÓN RODAMIENTOS.....	180
5.2.2.	SECCIÓN VIBRACIONES.....	181
5.2.3.	SECCIÓN BANCO DE ENSAYO.....	182
5.2.4.	INTERFACE DE APLICACION.....	183
6.	PRESUPUESTOS.....	186
7.	CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS	191
7.1.	CONCLUSIONES	192
7.2.	TRABAJOS FUTUROS	193
	BIBLIOGRAFÍA.....	194
	ANEXO	196



Índice de figuras

Figura 2. 1.- Introducción, aplicaciones de los rodamientos.....	10
Figura 2. 2.- Disposición de rodamientos.....	11
Figura 2. 3.- Rodamientos radiales.....	12
Figura 2. 4.- Rodamientos axiales.....	13
Figura 2. 5.- Tipos de rodamientos.....	14
Figura 2. 6.- Tabla de tipos de rodamientos, diseño y características.....	15
Figura 2. 7.- Comparación espacios radiales ocupados entre rodamientos de agujas y bolas.....	16
Figura 2. 8.- Rodamientos empleados para ejes de diámetros grandes.....	16
Figura 2. 9.- Comparación de cargas radiales soportadas por rodamientos de bolas y rodillos.....	17
Figura 2. 10.- Representación de rodamientos de rodillos, agujas y CARB.....	17
Figura 2. 11.- Rodamientos con capacidad de carga axial.....	18
Figura 2. 12.- Rodamientos axiales de bolas con contacto angular.....	18
Figura 2. 13.- Rodamientos axiales de rodillos a rótula.....	19
Figura 2. 14.- Rodamientos autoalineables.....	19
Figura 2. 15.- Rodamiento de bola.....	20
Figura 2. 16.- Rodamiento de rodillos.....	20
Figura 2. 17.- Varios tipos de rodamientos.....	21
Figura 2. 18.- Rodamiento con agujero cónico.....	21
Figura 2. 19.- Rodamiento de bolas seccionado.....	23
Figura 2. 20.- Comparación coeficiente de fricción cojinetes y rodamientos.....	23
Figura 2. 21.- Tipos de materiales compuestos los rodamientos.....	24
Figura 2. 22.- rodamientos radiales.....	25
Figura 2. 23.- Rodamientos rígidos.....	26
Figura 2. 24.- Explosionado de un rodamiento rígido de una hilera de bolas.....	28
Figura 2. 25.- Rodamiento rígido de dos hileras de bolas.....	28
Figura 2. 26.- Rodamiento rígido de una hilera de bolas con escote de llenado.....	29
Figura 2. 27.-Angulo de contacto en rodamientos de bolas con contacto angular.....	29
Figura 2. 28.- Rodamiento de una hilera de bolas con contacto angular.....	30
Figura 2. 29.-Rodamiento de dos hileras de bolas con contacto angular.....	30
Figura 2. 30.- Rodamiento de bolas con cuatro puntos de contacto.....	31
Figura 2. 31.- Rodamiento con corona de agujas.....	31
Figura 2. 32.- Rodamiento con casquillo de agujas sin fondo.....	32
Figura 2. 33.- Rodamiento con casquillo de agujas con fondo.....	32



Figura 2. 34.- Rodamiento de agujas con aro mecanizado, sin aro interior.....	33
Figura 2. 35.- Rodamiento de agujas con aro mecanizado, con aro interior.	33
Figura 2. 36.- Rodamiento de agujas autoalineables, sin aro interior.	34
Figura 2. 37.- Rodamiento de agujas autoalineables, con aro interior.....	34
Figura 2. 38.- Rodamiento de rodillos cónicos.	35
Figura 2. 39.- Rodamientos de rodillos cilíndricos de empuje.	35
Figura 2. 40.- Rodamiento de bolas a rotula.	36
Figura 2. 41.- Rodamiento de rodillos cilíndricos, tipo NU.....	37
Figura 2. 42.- Rodamiento de rodillos cilíndricos, tipo N.	37
Figura 2. 43.- Rodamiento de rodillos cilíndricos, tipo NJ.	38
Figura 2. 44.- Rodamiento de rodillos cilíndricos, tipo NUP.....	38
Figura 2. 45.- Rodamiento de aguja de empuje.....	39
Figura 2. 46.- Corona axial de agujas de doble efecto con centrado interior.	39
Figura 2. 47.- Corona axial de agujas de doble efecto con centrado exterior.....	39
Figura 2. 48.- Rodamiento híbrido.....	40
Figura 2. 49.- Rodamientos con aislamiento.	41
Figura 2. 50.- Rodamiento para altas/bajas temperaturas42	
Figura 2. 51.- Rodamiento con Solid Oil.....	43
Figura 2. 52.- Rodamientos de material polimérico.	44
Figura 2. 53.- Rodamiento con sensor.	45
Figura 2. 54.- Defecto rodamiento.....	46
Figura 2. 55.- Causas de los fallos en los rodamientos (FAG).	47
Figura 2. 56.- Tabla de tipos de daños en rodamientos.	47
Figura 2. 57.- Desgaste rodamiento.....	48
Figura 2. 58.- Desgaste producido por una lubricación inadecuada.....	49
Figura 2. 59.- Aro interior y exterior de un rodamiento de rodillos cilíndricos expuesto a vibraciones.	50
Figura 2. 60.- Arandela de un rodamiento axial de bolas sujeto a sobrecarga mientras no gira. Las muescas, estrechas y radialmente alineadas, no son esféricas como en los rodamientos radiales de bolas.	51
Figura 2. 61.- a-b-c.- Ejemplo de los resultados de una manipulación indebida. En un rodamiento de dos hileras de rodillos cilíndricos, un rodillo ha sufrido un impacto (fig. 2.63 a). Una vista periférica del rodillo (fig. 2.63 b) muestra dos muescas diametralmente opuestas. El rodillo, a su vez, ha marcado el camino de rodadura del aro interior (fig. 2.63c).....	52
Figura 2. 62.- Muecas provocadas por suciedad.....	52
Figura 2. 63.- Rodillo cilíndrico con adherencias en el extremo, causadas por fuerte carga axial y lubricación inadecuada.....	53



Figura 2. 64.- Adherencia sobre la superficie de un rodillo de un rodamiento de rodillos a rótula.....	54
Figura 2. 65.- Camino de rodadura del aro exterior de un rodamiento de rodillos a rótula con trazos de adherencia producidos por un golpe contra el aro interior.....	55
Figura 2. 66.- Detalle de uno de los trazos de adherencia.	55
Figura 2. 67.- Superficie exterior con adherencias en el aro exterior de un rodamiento de rodillos a rótula.....	55
Figura 2. 68.- Camino de rodadura de rodamiento axial de bola con marcas debidas a una velocidad de giro demasiado elevada en relación con la carga.	56
Figura 2. 69.- Fatiga superficial en forma de una banda rodeando el rodillo de un rodamiento de rodillos a rótula.	57
Figura 2. 70.- Oxidación en el aro interior de un rodamiento cónico. La oxidación tiene un espaciado equivalente a la distancia entre elementos rodantes. La oxidación se ha producido por la presencia de agua en el lubricante.	57
Figura 2. 71.- Corrosión en el anillo interior de un rodamiento de rodillos esféricos a rótula, producida por la entrada de agua en el rodamiento.	58
Figura 2. 72.- Oxidación en el aro exterior de un rodamiento cónico. La oxidación tiene un espaciado equivalente a la distancia entre elementos rodantes. La oxidación se ha producido por la presencia de agua en el lubricante.	58
Figura 2. 73.- Estrías causadas por el paso de corriente eléctrica en el aro exterior de un rodamiento de rodillos a rótula.	60
Figura 2. 74.- Rodamiento de ferrocarril dañado en una pista y en el rodillo por el paso de corriente de alta intensidad mientras el rodamiento permanecía inmóvil.	61
Figura 2. 75.- Fases progresivas del desconchado.	62
Figura 2. 76.-Pista interior y rodillos desconchados, en un rodamiento de rodillos cónicos. Las causas de esta avería son carga pesada y lubricación inadecuada.	63
Figura 2. 77.- Desconchado del aro exterior de un rodamiento de rodillos a rótula que ha sido montado en un alojamiento ovalado.....	63
Figura 2. 78.- Aro interior desconchado de un rodamiento de rodillos a rótula. La extensión de las marcas, enteramente alrededor de uno de los caminos de rodadura, indica que la carga axial ha sido muy grande con relación a la carga radial.....	64
Figura 2. 79.- Fractura del aro exterior de un rodamiento de bolas a rótula. Las muescas visibles en el borde inferior del aro fueron causadas por un mal trato, originando la fisura en una de estas muescas.	66
Figura 2. 80.-Fractura del aro interior de un rodamiento de rodillos a rótula. Uno de los rodillos ha sido extraído para permitir que el camino de rodadura en el lado izquierdo fuese examinado. El rodillo fue reinsertado con el martillo causando parte de la rotura de la pestaña central. Los impactos han sido transmitidos al camino opuesto a través de un rodillo, y parte de la pestaña también ha saltado. Al mismo tiempo el aro se ha fracturado transversalmente.	66
Figura 2. 81.- Aro interior de un rodamiento de rodillos a rótula con la pestaña exterior fracturada por golpes directos de martillo.....	67



Figura 2. 82.- Aro interior de un rodamiento de rodillos a rótula fracturado transversalmente seguido de adherencias en una cara. El aro ha sido montado junto a un distanciador que no ha tenido un ajuste suficientemente fuerte sobre el eje.	67
Figura 2. 83.- Aro interior de rodamiento de rodillos a rótula con corrosión de contacto y rotura transversal.	68
Figura 2. 84.- Rotura longitudinal de un aro exterior de rodamiento rígido de bolas, con corrosión de contacto.	68
Figura 2. 85.- Jaula deteriorada por fatiga de un rodamiento de rodillos a rótula	68
Figura 2. 86.- Jaula deteriorada de un rodamiento de bolas debido a una pobre lubricación. ..	69
Figura 2. 87.- Tipos de defectos localizados.	71
Figura 2. 88.- Esquema explicativo de las frecuencias propias de cada elemento de una cadena cinemática.	72
Figura 2. 89.- Parámetros cinemáticos del rodamiento.	73
Figura 2. 90.- Espectro de frecuencia característico de la vibración generada por un rodamiento con defectos.	76
Figura 2. 91.- Espectro representativo del estado I de la evolución del defecto en el rodamiento.	78
Figura 2. 92.- Espectro representativo del estado II de la evolución del defecto en el rodamiento.	79
Figura 2. 93.-Espectro representativo del estado III de la evolución del defecto en el rodamiento.	80
Figura 2. 94.- Espectro representativo del estado IV de la evolución del defecto en el rodamiento.	81
Figura 2. 95.- Parámetros geométricos y cinemáticos de los rodamientos.	85
Figura 2. 96 Valores de la $1/J_r$ para varios números y tipos de elementos rodantes	87
Figura 2. 97 Distribución de carga.	88
Figura 2. 98 Grafica logarítmica de parámetro J_r	89
Figura 2. 99.- El diagrama muestra el desplazamiento (deformación) en función de la carga aplicada.	90
Figura 2. 100.- Tabla área de contacto.....	91
Figura 2. 101 Componentes y parámetros dinámicos.	93
Figura 2. 102 Duración de vida en función de carga dinámica equivalente y otros parámetros.	96
Figura 2. 103 % rodamientos con fallo en función vida rodamiento.	98
Figura 2. 104 Combinación de cargas.	99
Figura 3. 1.- Ejemplo señal vibración, frecuencia/magnitud.....	102
Figura 3. 2.- Representación de una onda.	102
Figura 3. 3.- Modelo mecánico de un grado de libertad, con resorte y amortiguador.	104
Figura 3. 4.- Ejemplos de sistemas de 1 GDL	105



Figura 3. 5.- Sistema de 2 grados de libertad.	105
Figura 3. 6.- Representación de un sistema de 1 GDL.	106
Figura 3. 7.- Variación del FDA en función de β y de ζ	107
Figura 3. 8.- Representación onda compleja en 2 más sencillas.	107
Figura 3. 9.- Señal temporal de un diapasón.	108
Figura 3. 10.- Señal frecuencial de un diapasón.	108
Figura 3. 11.- Señal temporal del pistón de un motor.	108
Figura 3. 12.- Señal frecuencial del pistón de un motor.	108
Figura 3. 13.- Señal temporal de una máquina.	108
Figura 3. 14.- Señal frecuencial de una máquina.	108
Figura 3. 15.- Graficas con progresión lineal y no lineal	109
Figura 3. 16.- Vibración determinística.	110
Figura 3. 17.- Vibración aleatoria.	110
Figura 3. 18.- Parámetros de una onda. Figura.	110
Figura 3. 19.- Vibración forzada.	110
Figura 3. 20.- Onda de vibraciones amortiguada y no amortiguada.	111
Figura 3. 21.- Representación vibración sobre amortiguada.	113
Figura 3. 22.- Representación vibración con amortiguamiento crítico.	114
Figura 3. 23.- Representación vibración subamortiguada.	115
Figura 3. 24.- Cadena cinemática y las vibraciones característica de cada elemento.	119
Figura 3. 25.- Estado de la máquina en función del nivel de vibración y el tiempo.	120
Figura 3. 26.- Esquema identificación origen de picos en el dominio de frecuencia.	120
Figura 3. 27.- Esquema identificación origen de picos en el dominio de frecuencia.	121
Figura 3. 28.- Ejemplo de sistema de 2 GDL en el que se muestra su dominio de tiempo y de frecuencia.	122
Figura 3. 29.- Esquema básico de captación de señal vibratoria.	122
Figura 3. 30.- Esquema explicativo de mantenimiento de máquinas.	123
Figura 3. 31.- Esquema explicativo de la técnica de análisis, espectro de la envolvente.	123
Figura 3. 32.- Señal.	124
Figura 3. 33.- Potencia espectral.	124
Figura 3. 34.- Cepstrum.	124
Figura 3. 35.- Esquema explicativo de las técnicas de análisis de Spyke energy.	125
Figura 3. 36.- Graficas de espectro de potencia.	125
Figura 3. 37.- Defecto en la pista y escala, en rodamiento a causa de la vibración.	126
Figura 3. 38.- Defecto en la pista interior y escala, en rodamiento a causa de la vibración.	127
Figura 3. 39.- Defecto en bolas o rodillos y escala, en rodamiento a causa de la vibración.	127



Figura 3. 40.- Defecto de jaula y escala, en rodamiento a causa de la vibración.	127
Figura 3. 41.- Medición de holgura.	128
Figura 3. 42.- Rodamientos desalineados.	128
Figura 3. 43.- Espectro de frecuencia fase 1° del deterioro en rodamientos	129
Figura 3. 44.- Espectro de frecuencia fase 2° del deterioro en rodamientos	129
Figura 3. 45.- Espectro de frecuencia fase 3° del deterioro en rodamientos	130
Figura 3. 46.- Espectro de frecuencia fase 4° del deterioro en rodamientos	130
Figura 3. 47.- Tabla de bandas de frecuencias.	131
Figura 3. 48.- Técnico realizando verificaciones	132
Figura 3. 49.- Verificación diámetro eje turbofan.....	133
Figura 3. 50.- Mediciones mantenimiento predictivo.....	134
Figura 3. 51.-Cosas en contra y a favor del mantenimiento predictivo	135
Figura 3. 52.- Horizontes tipos de mantenimiento	136
Figura 3. 53.- Grafica de asignación de alertas.....	136
Figura 3. 54.- Valores orientativos para la colocación de alertas de mantenimiento.	137
Figura 3. 55.- Grafica con los valores medidos en y los niveles de alerta establecidos.	137
Figura 4. 1 Vista general del banco de ensayo.	141
Figura 4. 2 Diseño preliminar de banco de ensayo.....	143
Figura 4. 3 Ensayo elementos finitos de bancada y brida preliminares.....	143
Figura 4. 4 Banco de ensayos neumático UNED.	144
Figura 4. 5 Banco de ensayos Endesa.	145
Figura 4. 6 Banco de ensayos avanzado.	145
Figura 4. 7 Modulo de accionamiento del banco de ensayos de rodamientos BR-2.....	146
Figura 4. 8 Sistema transmisión banco.	147
Figura 4. 9 Vista general de subsistema de carga.	148
Figura 4. 10 Brida sujeción rodamientos.....	148
Figura 4. 11 Display de carga.	148
Figura 4. 12 Esquema general de conexión de equipos de medida.	149
Figura 4. 13 Acelerómetro.....	150
Figura 4. 14 Amplificador	151
Figura 4. 15 Tarjeta de adquisición de datos.....	152
Figura 4. 16 Tacómetro.	153
Figura 4. 17 Ejemplo de generación de defectos en rodamientos.	155
Figura 4. 18 Ejemplo de codificación.	156
Figura 4. 19 Tabla ejemplo de cálculos previstos previamente a los ensayos.	158



Figura 4. 20 Imagen pantalla de inicio Pro Engineer Wildfire 5.	159
Figura 4. 21 Entorno de trabajo Pro Engineer Wildfire 5.	162
Figura 4. 22 Barra de herramientas del sistema.	162
Figura 4. 23 Feature toolbar, Pro Engineer.	163
Figura 4. 24 Dashboard Proengineer Wildfire 5.	164
Figura 4. 25 Menú "nuevo" de Pro Engineer W5.	164
Figura 4. 26 Ejemplo simulación CFD en Pro Engineer W5.	165
Figura 4. 27 Vista general, aplicación animación Pro Engineer W5.	166
Figura 4. 28 Barra de trabajo temporal aplicación animación.	166
Figura 4. 29 Insertar motor cinemático.	167
Figura 4. 30 Configuración motor cinemático.	167
Figura 4. 31 Insertar vista.	167
Figura 4. 32 Selección de vista.	167
Figura 4. 33 Insertar transparencia.	168
Figura 4. 34 Configurar transparencia.	168
Figura 4. 35 Botón Iniciar.	168
Figura 4. 36 Botón reproducción.	168
Figura 4. 37 Menú configuración video.	168
Figura 4. 38 Imagen general del modelo de banco de ensayo.	169
Figura 4. 39 Fotografía banco real.	169
Figura 4. 40 Desarrollo vistas principales banco ensayo.	170
Figura 4. 41 Modelado conjunto motor.	171
Figura 4. 42 Fotografía del motor original.	171
Figura 4. 43 Modelado rodamiento y casquillos de desmontaje.	172
Figura 4. 44 Fotografía rodamiento SKF6206.	172
Figura 4. 45 Modelado de subconjunto transmisión.	172
Figura 4. 46 Modelo con relación cinemática de correa real	Figura 4. 47 Fotografía transmisión 173
Figura 4. 48 Fotografía del conjunto de carga.	173
Figura 4. 49 Modelado del conjunto de carga.	173
Figura 4. 50 Captura explosionado subconjunto carga axial.	174
Figura 4. 51 Modelado display carga.	174
Figura 4. 52 Fotografía display de carga.	174
Figura 4. 53 Modelo Variador de velocidad.	Figura 4. 54 Fotografía variador de velocidad. ...
Figura 4. 55 Modelo acelerómetro.	175
Figura 4. 56 Fotografía acelerómetro.	175





CAPITULO 1

1.INTRODUCCION



1.1. AMBIENTACION DEL PROYECTO

Los rodamientos tienen una importancia capital en los sistemas mecánicos con elementos giratorios, que por otro lado son básicos en la gran mayoría de cadenas cinemáticas de todo tipo de máquinas. Tanto cojinetes como sobretodo rodamientos, son críticos para evitar daños en otros elementos y aumentar la eficiencia de los sistemas.

Los rodamientos se utilizan en muchos sectores industriales como la construcción, el transporte, la industria química y farmacéutica, la alimentación, la industria textil, la minería y tratamiento de minerales, transformación de hidrocarburos o las centrales eléctricas, por ejemplo los aerogeneradores como el que aparecen en la figura.

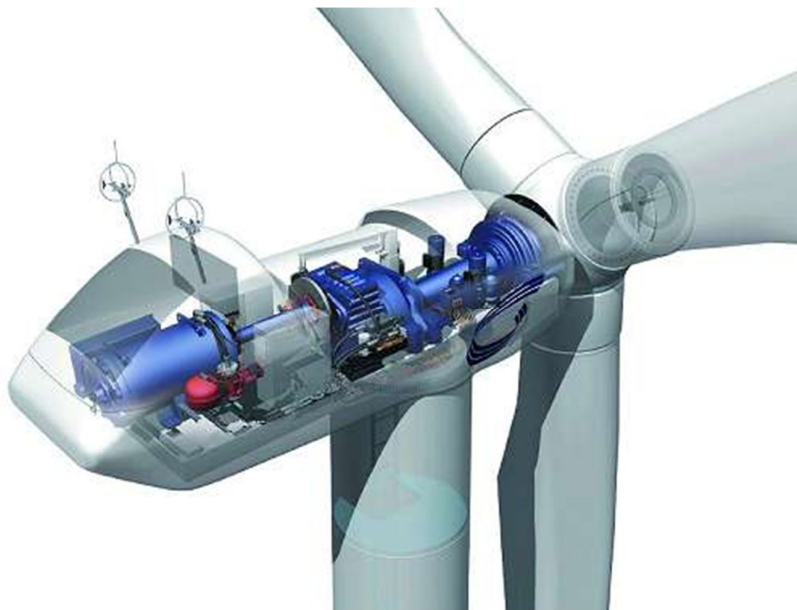


Figura 1. 1 Conjunto mecánico de un aerogenerador.

Las vibraciones son algo intrínseco a masas en rotación, ya que estas no se comportan de forma ideal, sufriendo desequilibrios, percusiones de funcionamiento, rozamientos, etc. Estas vibraciones reducen la vida de los elementos, sobre todo a determinados niveles, pero también son un indicador de fallos incipientes, lo que las convierte en unos valiosos aliados para el mantenimiento moderno de máquinas, haciendo necesario su control para predecir estos fallos antes de que ocurran y puedan causar daños a otros elementos del sistema.

Cualquier defecto que presente un rodamiento, redundará en la generación de vibraciones en el sistema, al ser un elemento de sustentación, y está sometido normalmente a sollicitaciones de carga elevada es susceptible de sufrir estos defectos y por lo tanto de generar vibraciones anómalas en el sistema.

Para esto es necesario medir estas vibraciones, mediante una serie de elementos que detallaremos en capítulos sucesivos de este documento. Tras la medición de los valores



y características de las vibraciones del sistema, se han de analizar debidamente las ondas que representan mediante multitud de técnicas que igualmente enumeraremos más adelante.

Existen aplicaciones comerciales que miden y analizan insitu los datos obtenidos, pero para poder llegar a este punto se han debido estudiar y caracterizar las vibraciones de los diferentes elementos del sistema mecánico, para poder discriminar las componentes de la vibración que son fruto del funcionamiento normal de la máquina de cuales son debidas a defectos en el mismo. Para esto existen bancos de ensayo, en este caso de rodamientos, como los presentes en la universidad que se denomina *BR-2*, que se emplean para realizar ensayos con el objetivo de caracterizar los diferentes defectos, en función de parámetros medidos sobre la vibración de los rodamientos montados en el banco, extrapolando estos resultados a entornos industriales reales.

Este tipo de estudios de vibraciones se engloban dentro de la visión moderna del mantenimiento de máquinas, que se engloba dentro de conceptos tales como *mantenimiento predictivo* en el que básicamente se pretende localizar precozmente un defecto, antes de que produzca daños en el equipo, pero sin realizar actuaciones antes de tiempo o innecesarias, muy en la línea de conceptos productivos como el *just in time*. Un paso más adelante llega el *mantenimiento proactivo* en el cual no solo vamos a querer realizar este mantenimiento predictivo, sino que una vez localizados los defectos antes de que provoquen paros no programados de la máquina, se va a buscar la causa para evitarla o mitigarla en la medida de lo posible.

El modelado de este banco realizado en el software de CAD/CAM/CAE *Pro Engineer Wildfire 5*, resulta de gran utilidad para futuras modificaciones del mismo y poder ensayar previamente su comportamiento, sin tener que fabricar el prototipo, con el consiguiente ahorro de costes y tiempo.

El estudio de las vibraciones mecánicas y todo lo que rodea al funcionamiento y bases teóricas del banco de ensayo son amplios y no necesariamente atractivos a todos los posibles alumnos que puedan acercarse a este campo, al contar con una herramienta visual tan potente como el modelado completo del banco y sus elementos de medida, podemos plantear una aplicación que facilite la labor didáctica de los profesores, planteándola de forma adecuada se puede emplear de forma autodidacta



1.2. OBJETIVOS

La idea fundamental que guiará este proyecto es la ampliación del conocimiento en el comportamiento vibratorio de los sistemas mecánicos, en concreto los rodamientos, para formar en el ámbito de la diagnosis de defectos en rodamientos a través de la medición de vibraciones

De una forma más detallada, podemos decir que para conseguir esto, el objetivo principal de este proyecto es:

*Diseñar una **aplicación didáctica** sobre soporte informático común, que pueda ser empleado en la mayoría de los ordenadores de la universidad u otros ordenadores personales, con el fin de instruir de forma **sencilla** pero **completa**, sobre la defectología de rodamientos, su relación con las vibraciones y como registrar las mismas en un banco de ensayo de rodamientos para la diagnosis del estado del rodamiento. La aplicación que debe estar orientada a la formación dirigida por un profesor o como soporte autodidacta*

Para conseguir este objetivo principal se tendrán que alcanzar 2 objetivos secundarios pero de igual importancia para que el proyecto llegue a buen puerto:

1º. **Recopilación de información** sobre:

- a. **Rodamientos**, incluyendo conocimientos generales, defectología y relación de las mismas con las vibraciones.
 - b. **Vibraciones** versando sobre sus fundamentos teóricos, métodos de medición, métodos de análisis e interpretación de resultados ligados a la defectología en rodamientos.
 - c. **Banco de ensayo**, del que deberá introducir su fundamentación teórica y enumerar sus subsistemas, además como realizar los ensayos sobre los rodamientos.
- 2º. **Modelado del banco** ya fabricado, de una forma realista en software CAD 3D, que proporcione un modelo fidedigno del mismo, que sirva como base para la explicación más visual de sus partes y funcionamiento.

1.3. FASES

El germen de este proyecto fue la realización de un trabajo dirigido en el departamento de ingeniería mecánica de la universidad, en el que realice una serie de ensayos de vibraciones en rodamientos en el banco de ensayo que ocupa la base de este proyecto, tras esto se planteó la posibilidad de realizar este proyecto, los pasos seguidos para el desarrollo de los contenidos de este proyecto son:

1. En primer lugar se realizó una serie de mediciones, toma de datos, fotografías, etc. sobre el banco de ensayo.
2. Modelado del sistema en Solid edge ST, debido a problemas con la licencia del software, se tuvo que buscar soluciones alternativas. Para ello el departamento me proporcionó una licencia de Pro Engineer Wildfire 5, software en el que finalmente se ha realizado el modelado, del modelo anterior se pudieron importar varias partes a través del formato *.igs sin embargo no todas se pudieron importar, ya sea en el momento de la propia importación, en su montaje en el conjunto o en la posterior animación del mismo daban fallos de incompatibilidad con el software.
3. Animación del modelo con una cinemática lo más realística posible, además de la realización de videos de explosionados de partes del sistema.
4. Acopio de documentación técnica, relacionada con los siguientes temas:
 - Los rodamientos: sus características, funcionamiento, defectología y modelos más significativos.
 - Las vibraciones, técnicas y equipos electrónicos necesarios para la medida de las vibraciones.
5. Clasificación y estudio de la información anterior.
6. Planteamiento del formato y la estructura de la aplicación didáctica.
7. Elaboración de la aplicación didáctica.
8. Redacción de la memoria del proyecto.



1.4. ESTRUCTURA DEL DOCUMENTO

La memoria del proyecto se ha estructurado en los siguientes capítulos:

- **Capítulo 1**

Se presentan los objetivos que se persiguen en este proyecto así como el ámbito en el cual se desarrolla y la motivación de la misma, finalizando con la descripción de las fases del desarrollo del proyecto y la estructura del presente documento.

- **Capítulo 2**

Se da una introducción teórica sobre los rodamientos, comentando los tipos de rodamientos que existen y la defectología que puedan presentar.

También se trata en este capítulo de la cinemática y la dinámica de los rodamientos, así como el comportamiento vibratorio de los rodamientos con defectos, el espectro generado por los mismos y su evolución.

- **Capítulo 3**

Se aborda con más profundidad el concepto de vibración, su clasificación, la representación en forma de onda y los métodos de análisis más empleados para las vibraciones mecánicas.

- **Capítulo 4**

Se detalla en banco de ensayos, mostrando los subsistemas de que se compone así como ejemplos de otros bancos similares. También se explica en que consisten los ensayos y se orienta como realizar el diseño de los mismos.

- **Capítulo 5**

Se detalla la aplicación didáctica con sus características principales y la estructura en la que se divide la aplicación..

- **Capítulo 6**

Se detalla el presupuesto necesario para la realización de este proyecto.

- **Capítulo 7**

En este capítulo aparecen las conclusiones finales del proyecto haciendo una proposición final sobre los posibles trabajos futuros que continúen y complementen este proyecto.



- **Bibliografía**

Se hace una lista de los documentos más relevantes que se han utilizado para la realización de este proyecto, tales como: libros, tesis doctorales, notas técnicas, páginas web, etc.

- **Anexos**

Se incluyen los anexos al proyecto.



CAPITULO 2

2.RODAMIENTOS

2.1. INTRODUCCION

El rodamiento o también llamado cojinete de rodadura, es un elemento mecánico que se sitúa entre dos componentes de una máquina, con un eje de rotación común, de forma que un componente puede girar respecto al otro.

Hay gran número de tipos de rodamientos, dependiendo de multitud de variables tales como: tipos de elementos rodantes, función, forma, materiales de fabricación, etc. Estos tipos se pueden encontrar descritos y clasificados en el apartado “*CLASIFICACIÓN*” del menú de navegación lateral (en adelante MNL).

El más conocido y empleado de todos los rodamientos es el de tipo rígido con hilera de bolas, que nos servirá a modo de ejemplo para ilustrar las partes principales de un rodamiento, estas partes son comunes a todos ellos, con algunas diferencias, que como ya hemos comentado anteriormente, serán detalladas junto con las principales características de cada tipo de rodamiento en el apartado “*CLASIFICACIÓN*” del MNL.

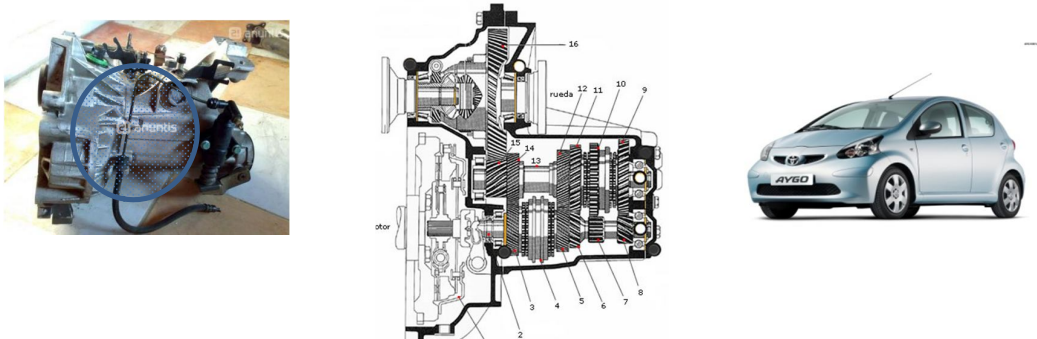


Figura 2. 1.- Introducción, aplicaciones de los rodamientos.

2.1.1. TERMINOLOGIA DE LOS RODAMIENTOS

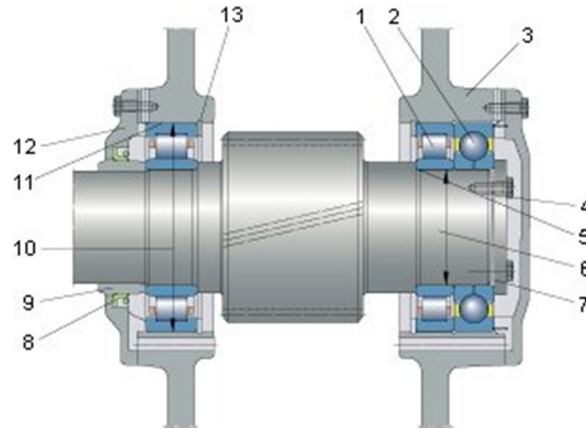


Figura 2. 2.- Disposición de rodamientos.

- 1 Rodamiento de rodillos cilíndricos
- 2 Rodamiento de bolas con cuatro puntos de contacto
- 3 Soporte
- 4 Eje
- 5 Tope del resalte del eje
- 6 Diámetro del eje
- 7 Placa de fijación
- 8 Obturación radial de eje
- 9 Anillo distanciador
- 10 Diámetro del agujero del soporte
- 11 Agujero del soporte
- 12 Tapa del soporte
- 13 Anillo elástico

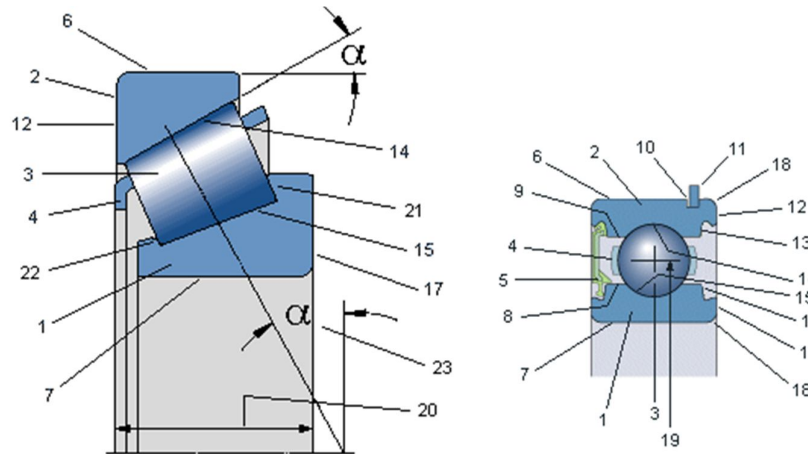


Figura 2. 3.- Rodamientos radiales.

- 1 Aro interior
- 2 Aro exterior
- 3 Elemento rodante: bola, rodillo cilíndrico, agujas, rodillo cónico, rodillo a rótula
- 4 Jaula
- 5 Carcasa
Obturación – rozante hecha de elastómero (ilustrada en la figura), o no rozante
Placa de protección – hecha de chapa de acero, no rozante
- 6 Diámetro exterior del aro exterior
- 7 Agujero del aro interior
- 8 Diámetro del reborde del aro interior
- 9 Diámetro del reborde del aro exterior
- 10 Ranura para anillo elástico
- 11 Anillo elástico
- 12 Cara lateral del aro exterior
- 13 Ranura de anclaje para la obturación
- 14 Camino de rodadura del aro exterior
- 15 Camino de rodadura del aro interior
- 16 Ranura de obturación
- 17 Cara lateral del aro interior
- 18 Chaflán
- 19 Diámetro medio del rodamiento
- 20 Anchura total del rodamiento
- 21 Pestaña guía
- 22 Pestaña de retención
- 23 Ángulo de contacto

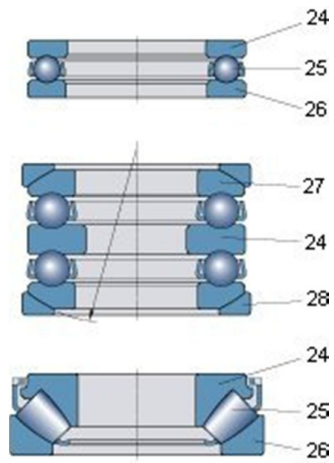


Figura 2. 4.- Rodamientos axiales.

- 24 Arandela de eje
- 25 Conjunto de elementos rodantes y jaula
- 26 Arandela de alojamiento
- 27 Arandela de alojamiento con superficie de asiento esférica
- 28 Arandela de apoyo del asiento

2.2. CRITERIOS DE SELECCIÓN DE RODAMIENTOS

Cada tipo de rodamiento presenta propiedades características que dependen de su diseño y que lo hacen más o menos adecuado para una aplicación determinada. La selección no es nada sencilla y requiere de un profundo conocimiento tanto del sistema en que se quiere implementar, como de las amplias posibilidades técnicas que el mercado nos brinda.

Este aspecto requeriría de un tratamiento en profundidad y detallado que no entra dentro del ámbito de esta aplicación, sin embargo vamos mostrar de forma indicativa los parámetros que se han de tener en cuenta para esta tarea.

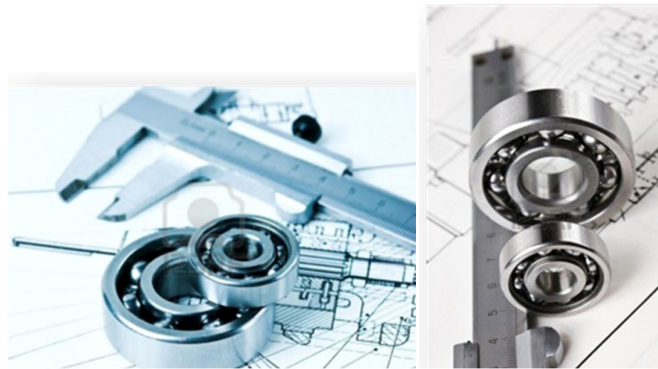


Figura 2. 5.- Tipos de rodamientos.

La información facilitada a continuación, debe servir para indicar los factores más importantes a considerar a la hora de seleccionar un tipo de rodamiento estándar, y facilitar así una elección apropiada.

Encontrará información adicional sobre los tipos de rodamientos estándar, sus características de diseño y su adecuación para una aplicación determinada en la [tabla](#).

Tabla de Selección Rápida de Rodamientos

La tabla únicamente permite una clasificación relativamente superficial de los tipos de rodamientos. El número limitado de símbolos no permite una diferenciación exacta, y algunas de las propiedades no dependen sólo del diseño del rodamiento. Por ejemplo, la rigidez de una disposición con rodamientos de bolas con contacto angular o rodamientos de rodillos cónicos, depende también de la precarga aplicada, y la velocidad de funcionamiento, que está influenciada por la precisión del rodamiento y sus componentes adyacentes, así como por el diseño de la jaula.

La matriz no ofrece más que una orientación aproximada de modo que cada caso requiere una selección más calificada según la información dada en las páginas anteriores o la información más detallada de los textos que preceden a cada sección de tablas.																																							
Diseño										Características										Rodamiento adecuado para																			
1 Agujero cónico 2 Placas de protección u obturación 3 Autoalineable 4 No desmontable 5 Desmontable										6 Carga puramente radial 7 Carga puramente axial 8 Carga combinada 9 Momentos 10 Alta velocidad										11 Alta precisión de funcionamiento 12 Alta rigidez 13 Funcionamiento silencioso 14 Baja fricción 15 Compensación por desalineación en funcionamiento										16 Compensación por errores de alineación (inicial) 17 Disposiciones de rodamiento fijo 18 Disposiciones de rodamiento libre 19 Desplazamiento axial posible en el rodamiento									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	16	17	18	19	16	17	18	19	16	17	18	19	16	17	18	19					
Rodamientos rígidos de bolas		a				+	+	+	+	+++	+++	+	+++	+++	+	+	+	+	+++	+++	+	+++	+++	+	+++	+++	+	+++	+++	+	+++	+++	+	+++					
Rodamientos de bolas con contacto angular		b		a, b	c	+	+	+	+	+++	+++	+	+++	+++	+	+	+	+	+++	+++	+	+++	+++	+	+++	+++	+	+++	+++	+	+++	+++	+	+++					
Rodamientos de bolas a rótula						+	+	+	+	+++	+++	+	+++	+++	+	+	+	+	+++	+++	+	+++	+++	+	+++	+++	+	+++	+++	+	+++	+++	+	+++					
Rodamientos de rodillos cilíndricos						+	+	+	+	+++	+++	+	+++	+++	+	+	+	+	+++	+++	+	+++	+++	+	+++	+++	+	+++	+++	+	+++	+++	+	+++					
llenos de rodillos			a	b		+++	+++	+++	+++	+++	+++	+	+++	+++	+	+	+	+	+++	+++	+	+++	+++	+	+++	+++	+	+++	+++	+	+++	+++	+	+++					
Rodamientos de agujas		a	c			+++	+++	+++	+++	+++	+++	+	+++	+++	+	+	+	+	+++	+++	+	+++	+++	+	+++	+++	+	+++	+++	+	+++	+++	+	+++					
		b, c				+++	+++	+++	+++	+++	+++	+	+++	+++	+	+	+	+	+++	+++	+	+++	+++	+	+++	+++	+	+++	+++	+	+++	+++	+	+++					
		b, c				+	+	+	+	+++	+++	+	+++	+++	+	+	+	+	+++	+++	+	+++	+++	+	+++	+++	+	+++	+++	+	+++	+++	+	+++					

Figura 2. 6.- Tabla de tipos de rodamientos, diseño y características.

Encontrará información más detallada sobre los tipos de rodamientos individuales, incluyendo sus características y los diseños disponibles, en las secciones correspondientes a clasificación. Los tipos de rodamientos que no aparecen en la tabla sólo se utilizan, generalmente, en algunas aplicaciones específicas.

Parámetros a tener en cuenta, para la selección del rodamiento más adecuado son:

- **ESPACIO DISPONIBLE**: En muchos casos, una de las dimensiones principales del rodamiento, el diámetro del agujero, viene determinado por las características de diseño de la máquina y por el diámetro del eje.

De forma orientativa podemos decir que, Para los ejes de diámetro pequeño, se puede utilizar cualquier tipo de rodamiento de bolas, siendo los rodamientos rígidos de bolas los más utilizados; los rodamientos de agujas también son adecuados.

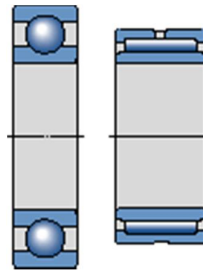


Figura 2. 7.- Comparación espacios radiales ocupados entre rodamientos de agujas y bolas.

Para ejes de diámetros grandes, se pueden considerar los rodamientos de rodillos cilíndricos, cónicos, a rótula y toroidales autoalineables (CARB), así como los rodamientos rígidos de bolas.

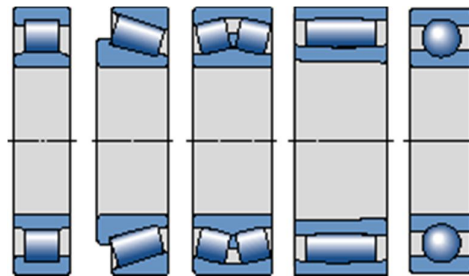


Figura 2. 8.- Rodamientos empleados para ejes de diámetros grandes.

- **CARGAS:** Las consideraciones de carga son unos de los parámetros esenciales de diseño, así tendremos que tener en cuenta:

- **Magnitud de la carga.** es uno de los factores que suele determinar el tamaño del rodamiento a utilizar. Por lo general, los rodamientos de rodillos pueden soportar mayores cargas que los rodamientos de bolas de tamaño similar y los rodamientos llenos de elementos rodantes pueden soportar mayores cargas que los rodamientos con jaula correspondientes. Los rodamientos de bolas son los más utilizados cuando las cargas son ligeras o moderadas. Para cargas elevadas y ejes de gran diámetro, la elección más adecuada son los rodamientos de rodillos.

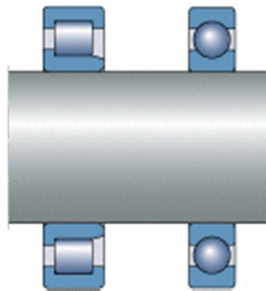


Figura 2. 9.- Comparación de cargas radiales soportadas por rodamientos de bolas y rodillos.

- **Sentido de la carga.** Para **cargas radiales** hay que tener en cuenta los rodamientos de rodillos cilíndricos, los rodamientos de agujas y los rodamientos toroidales autoalineables, sólo pueden soportar cargas puramente radiales. Todos los demás rodamientos radiales pueden absorber algunas cargas axiales además de las cargas radiales

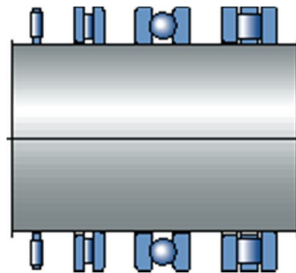


Figura 2. 10.- Representación de rodamientos de rodillos, agujas y CARB.

Para **cargas axiales** Los rodamientos axiales de bolas y de bolas de cuatro puntos de contacto son adecuados para las cargas ligeras o moderadas axiales.

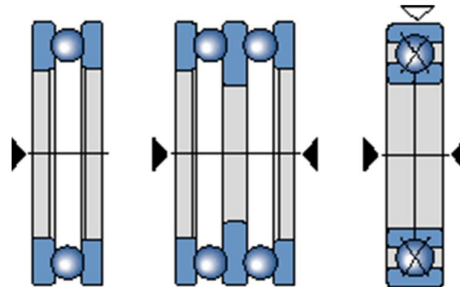


Figura 2. 11.- Rodamientos con capacidad de carga axial.

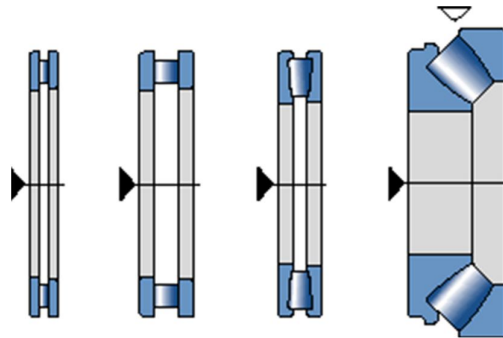


Figura 2. 12.- Rodamientos axiales de bolas con contacto angular

Los rodamientos axiales de bolas con contacto angular pueden soportar cargas axiales moderadas a altas velocidades y también cargas radiales simultáneamente.

Para cargas axiales moderadas y elevadas en un sentido, los rodamientos axiales de agujas y los de rodillos cilíndricos y cónicos, así como los rodamientos axiales de rodillos a rótula. Los rodamientos axiales de rodillos a rótula también pueden soportar cargas radiales simultáneas.

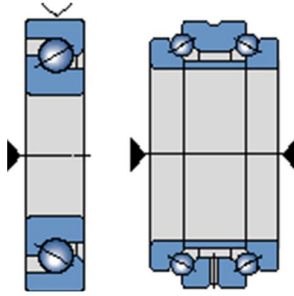


Figura 2. 13.- Rodamientos axiales de rodillos a rótula

- **DESALINEACION**: Las desalineaciones angulares se pueden deber a muy diferentes motivos, como la flexión del eje, errores de ejecución, etc. Los rodamientos rígidos, es decir, los rodamientos rígidos de bolas y los rodamientos de rodillos cilíndricos, no pueden soportar ninguna desalineación, o sólo desalineaciones muy pequeñas, a no ser que se fuercen. Por otra parte, los rodamientos autoalineables, es decir, los rodamientos de bolas a rótula, los rodamientos de rodillos a rótula, los rodamientos CARB y los rodamientos axiales de rodillos a rótula, pueden soportar las desalineaciones producidas bajo las cargas de funcionamiento y también pueden compensar los errores de alineación iniciales producidos por errores de mecanización o de montaje.

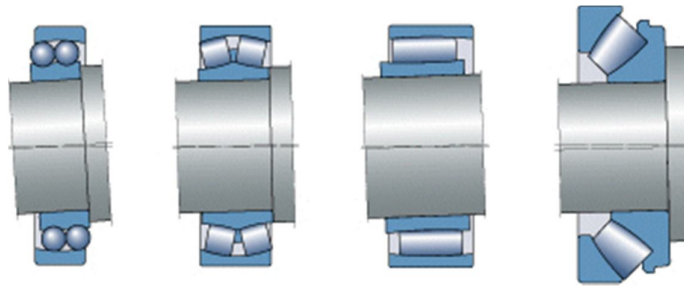


Figura 2. 14.- Rodamientos autoalineables.

- **PRECISIÓN**: Para las aplicaciones que requieren una alta precisión de funcionamiento por ejemplo, disposiciones de husillos para máquinas herramientas, y altas velocidades, se requieren rodamientos con una precisión mayor que la normal.

- **VELOCIDAD**: La temperatura de funcionamiento admisible limita la velocidad a la que los rodamientos pueden funcionar, los rodamientos que ofrecen una baja fricción y por tanto, una baja generación de calor interno, son los más apropiados para el funcionamiento a alta velocidad.

Las velocidades más altas se pueden alcanzar con los rodamientos rígidos de bolas y con los rodamientos de bolas a rótula cuando las cargas son puramente radiales y con los rodamientos de bolas con contacto angular para cargas combinadas.

Debido a su diseño, los rodamientos axiales no pueden soportar velocidades tan altas como los rodamientos radiales.



Figura 2. 15.- Rodamiento de bola.

- **FUNCIONAMIENTO SILENCIOSO:** En ciertas aplicaciones, como pequeños motores para electrodomésticos o equipos de oficina, el ruido producido durante el funcionamiento es un factor importante y puede influir en la elección de un rodamiento. Los rodamientos rígidos de bolas, se suelen emplear en estas aplicaciones.

- **RIGIDEZ:** La rigidez de un rodamiento se caracteriza por la magnitud de la deformación elástica (resiliencia) en el rodamiento bajo carga. Generalmente, esta deformación es muy pequeña y puede ser ignorada. En algunos casos, por ejemplo en los husillos para máquinas herramienta o en disposiciones de rodamientos de piñones, la rigidez es un factor importante.

Debido al contacto entre los elementos rodantes y los caminos de rodadura, los rodamientos de rodillos, por ejemplo, los de rodillos cilíndricos o los de rodillos cónicos, son más rígidos que los rodamientos de bolas. La rigidez de los rodamientos puede aumentarse aún más aplicando una precarga.

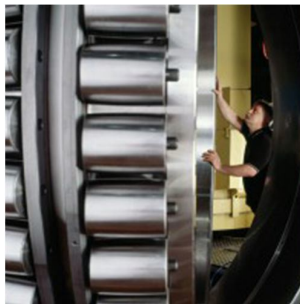


Figura 2. 16.- Rodamiento de rodillos

- **DESPLAZAMIENTO AXIAL:** Los ejes u otros componentes rotativos de la máquina están generalmente soportados por un rodamiento fijo y otro libre; ver la sección “*reparto y combinación de cargas*” que se puede encontrar en el apartado “*cinética y dinámica*” del MNL.

Los rodamientos libres deberán permitir el desplazamiento axial del eje, de manera que los rodamientos no se sobrecarguen, por ejemplo, a causa de la dilatación térmica del eje. Entre los rodamientos más adecuados para una disposición libre, se encuentran los rodamientos de agujas y los rodamientos de rodillos cilíndricos de diseño NU y N.

Para las aplicaciones que requieren un desplazamiento axial relativamente grande y en las que el eje puede estar desalineado, un rodamiento de tipo toroidal autoalineables como los CARB de SKF es la mejor elección como rodamiento libre.

- **MONTAJE Y DESMONTAJE:** Los rodamientos con agujero cilíndrico son más fáciles de montar y desmontar si son de diseño desarmable, especialmente si se necesitan ajustes de interferencia en ambos aros. Los rodamientos desarmables, también son preferibles cuando el rodamiento ha de ser montado y desmontado con frecuencia, ya que el aro con los elementos rodantes y la jaula, se puede montar de forma independiente del otro aro.

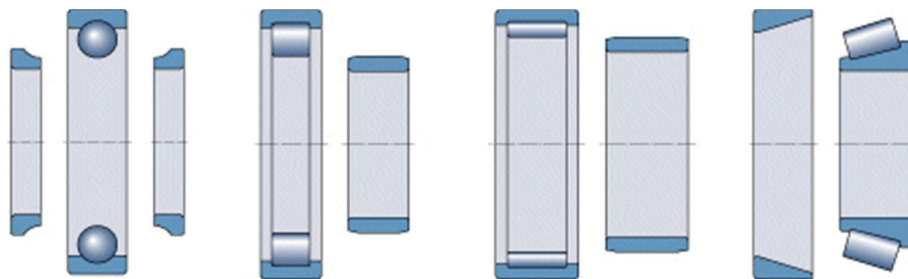


Figura 2. 17.- Varios tipos de rodamientos.

Los rodamientos con agujero cónico se pueden montar fácilmente sobre un eje cónico o en el asiento de un eje cilíndrico usando un manguito de fijación o de desmontaje.

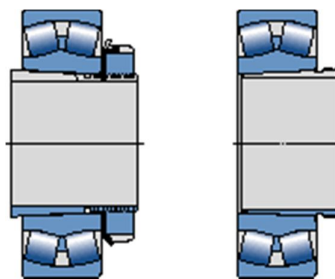


Figura 2. 18.- Rodamiento con agujero cónico.

2.3. CARACTERISTICAS DE LOS RODAMIENTOS

El rodamiento o cojinete de rodadura es un elemento mecánico que se sitúa entre dos componentes de una máquina, con un eje de rotación común, de forma que un componente puede girar respecto al otro. La función principal es dar apoyo o soporte a los elementos portadores:

- Soporte de ejes → Anillo interior fijo y anillo exterior móvil.
- Soporte de árboles → Anillo exterior fijo y anillo interior móvil.

Estos rodamientos están diseñados para que los rozamientos originados durante el giro no sean de deslizamiento (cojinetes), sino de rodadura, presentando muchas características similares a los cojinetes de fricción:

- Bajo rozamiento.
- Tolerancias y acabados muy rígidos.
- Necesidad de un montaje preciso.
- Sensible a impactos, sobrecargas, humedad, suciedad...
- Punto crítico dentro de la máquina, generalmente seleccionado para efectuar el mantenimiento.

Pero también presentan muchas ventajas frente a los cojinetes de fricción como:

- El coeficiente de rozamiento es inferior y, además, prácticamente independiente de la velocidad y de la carga.
- Admite carga axial.
- Algunos tipos son autoalineables.
- Y algunas desventajas:
- Precio más elevado.
- Montaje más complejo.

El rodamiento consiste, básicamente, en dos aros o anillos (anillo interior y anillo exterior) o, en el caso de los rodamientos axiales, arandelas (arandela superior y arandela inferior), entre los cuales se alojan los elementos rodantes (bolas o rodillos) que discurren por las pistas de rodadura. Para prevenir que los elementos rodantes interactúen entre sí, estos están alojados en jaulas o separadores, tal y como se puede ver en la siguiente figura:

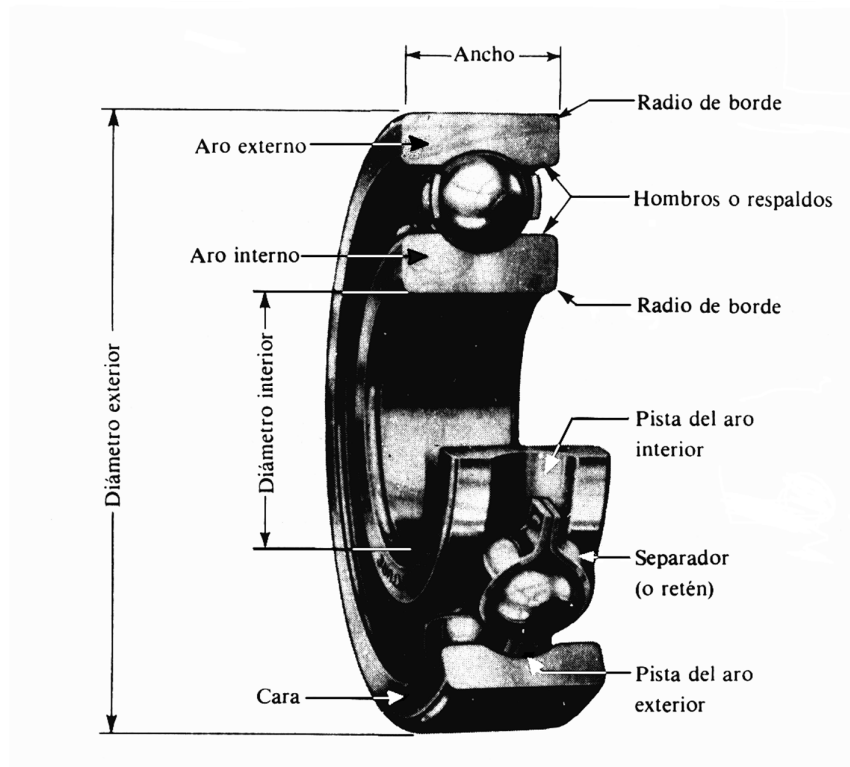


Figura 2. 19.- Rodamiento de bolas seccionado.

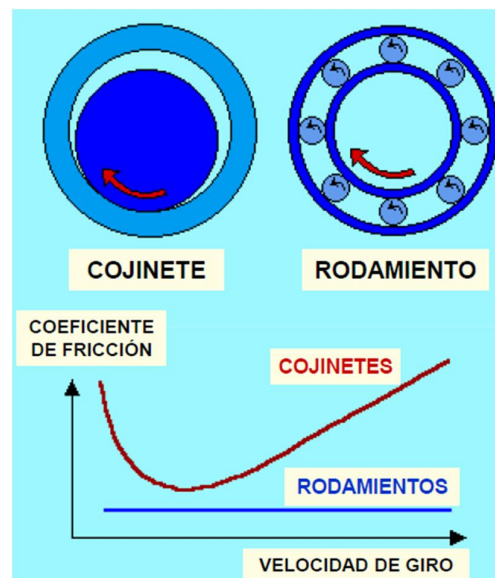


Figura 2. 20.- Comparación coeficiente de fricción cojinetes y rodamientos.

2.3.1. LOS MATERIALES DE FABRICACION

Para la fabricación de los rodamientos, se emplean gran variedad de materiales, aunque tradicionalmente se han empleado mayoritariamente aleaciones metálicas, en especial aceros, la aparición de nuevas aplicaciones y requerimientos técnicos, ha extendido la utilización de otros materiales como polímeros o compuestos cerámicos.

Aun así los materiales más empleados para elementos rodantes y soporte son fabricados en aceros duros, con alta resistencia a la fatiga y al desgaste con una dureza del orden de 500-700° Brinell:

- Aceros al temple total: Aceros al Cromo (1 % de Carbono y 1,5 % de Cromo)
- Aceros de cementación: Aceros al Cromo manganeso o al Cromo níquel (0,15 % de Carbono)
- * Los elementos rodantes y las pistas de rodadura tienen un tratamiento 14 superficial especial, variando su dureza respecto a la de los soportes.
- * Las jaulas se realizan en aceros más blandos, poliamida, latón, etc.



Figura 2. 21.- Tipos de materiales compuestos los rodamientos.

2.4. TIPOS DE RODAMIENTOS

Hay tres formas de clasificar los rodamientos:

2.4.1. SEGÚN LA DIRECCIÓN DE LA CARGA

2.4.1.1. Rodamientos Radiales

Son aquellos que están diseñados para resistir cargas en dirección perpendicular al eje. Constan en forma general de tres piezas: Un aro exterior, un aro interior y un elemento rodante con algún tipo de canastillo o jaula. Por ejemplo, las ruedas de un carro se apoyan en el suelo y reciben la carga en el eje, de esta forma los rodamientos de las ruedas trabajan bajo carga radial.

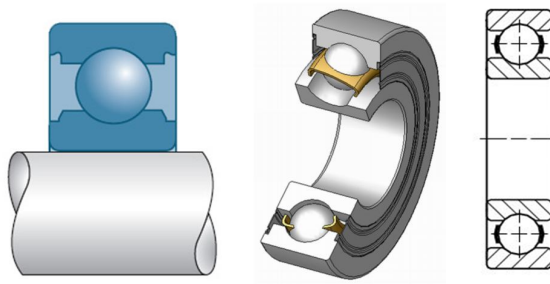


Figura 2. 22.- rodamientos radiales.

Rodamientos para cargas radiales. Pueden soportar preferentemente cargas dirigidas en la dirección perpendicular al eje de rotación.

Los rodamientos de rodillos cilíndricos, de agujas y toroidales solo soportan cargas puramente axiales, sin embargo los rodamientos rígidos de bolas pueden soportar cargas axiales, aunque menores, de entorno a 0.25-0.5 de su capacidad de carga estática (CO), una carga axial mayor supondría una importante reducción de vida útil.

2.4.1.2. Rodamientos Axiales

Son aquellos que están diseñados para resistir cargas en la misma dirección del eje. Constan en forma general de tres piezas: un aro superior, un aro inferior y un elemento rodante con algún tipo de canastillo. Por ejemplo, pensemos en un carrusel. El peso total de esta máquina actúa verticalmente hacia el suelo y debe rotar en torno a un eje vertical al suelo, en esta aplicación debe utilizarse un rodamiento axial de gran diámetro, cuyo aro superior sostenga al carrusel y cuyo aro inferior se apoye en el suelo.

2.4.1.3. Rodamientos de contacto angular

Son una mezcla de los casos anteriores, se basan en un rodamiento similar al radial con un diseño especial de los aros exterior e interior para soportar cargas axiales mayores que un rodamiento radial simple. Sus aplicaciones son muy amplias, debido a que un eje siempre puede desarrollar cargas eventuales en una dirección inesperada y debido al ahorro que se genera al colocar un solo

2.4.2. SEGÚN LA RIGIDEZ DEL RODAMIENTO

2.4.2.1. Rodamientos rígidos

Son aquellos que no aceptan desalineamientos del eje. Ante un desalineamiento se generan cargas que pueden dañar definitivamente el rodamiento.



Figura 2. 23.- Rodamientos rígidos.

2.4.2.2. Rodamientos rotulados

Son aquellos que, por un diseño especial de los aros, permiten que el eje gire algunos grados sin desarmar el rodamiento. Esta característica se logra con una pista de rodadura esférica que permite a las bolas o barriletes desplazarse para acomodarse al desalineamiento del eje. Son muy utilizados en maquinaria pesada debido a la necesidad de prevenir daños frente a las deformaciones de los ejes, cargas provocadas por dilataciones térmicas y cargas dinámicas.



2.4.3. SEGÚN EL ELEMENTO RODANTE

Existen diversos elementos rodantes que varían según las aplicaciones. Por ejemplo, los rodamientos rígidos de bolas pueden soportar cargas radiales moderadas así como cargas axiales pequeñas. Tienen baja fricción y pueden ser producidos con gran precisión. Por lo tanto, son preferidos para motores eléctricos de medio y pequeño tamaño. Los rodamientos de rodillos esféricos pueden soportar cargas radiales muy pesadas y son oscilantes, lo que les permite asumir flexiones del eje, y pequeñas desalineaciones entre dos rodamientos, que soportan un mismo eje. Estas propiedades los hacen muy populares para aplicaciones por ejemplo en ingeniería pesada, donde las cargas son fuertes, así como las deformaciones producidas por las cargas, en máquinas grandes es también habitual cierta desalineación entre apoyos de los rodamientos.

2.4.3.1. Rodamientos rígidos de bolas

Son usados en una gran variedad de aplicaciones. Son fáciles de diseñar, no separables, capaces de operar en altas e incluso muy altas velocidades y requieren poca atención o mantenimiento en servicio. Estas características, unidas a su ventaja de precio, hacen a estos rodamientos los más populares de todos los rodamientos.

Los más utilizados son:

- Rodamientos rígidos de una hilera de bolas

Son particularmente versátiles. Su diseño es sencillo, no desarmables, son apropiados para velocidades altas e incluso muy altas y resistentes durante su funcionamiento, exigiendo muy poco mantenimiento. Las ranuras profundas de los caminos de rodadura y el alto grado de osculación entre éstas y las bolas, permiten que los rodamientos rígidos de bolas soporten cargas axiales en ambos sentidos, además de cargas radiales, incluso a altas velocidades.

Los rodamientos rígidos de una hilera de bolas son los más utilizados.

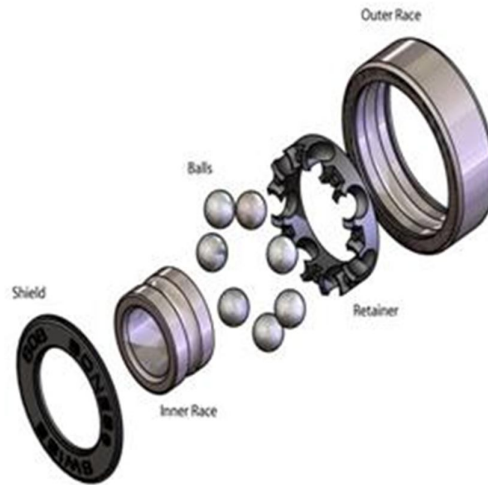


Figura 2. 24.- Explosionado de un rodamiento rígido de una hilera de bolas.

- Rodamientos rígidos de dos hileras de bolas

Los rodamientos rígidos de dos hileras de bolas se corresponden en diseño a los rodamientos rígidos de una hilera de bolas. Tienen caminos de rodadura profunda ininterrumpida y una gran oscilación entre las bolas y los caminos de rodadura. Pueden soportar cargas axiales en ambos sentidos además de cargas radiales.

Los rodamientos rígidos de dos hileras de bolas son muy adecuados para disposiciones donde la capacidad de carga de los de una hilera es insuficiente. Para los mismos diámetros exteriores y de agujero, los rodamientos de dos hileras son ligeramente más anchos que los de una hilera, pero tienen una capacidad de carga considerablemente más alta que los rodamientos de una hilera.



Figura 2. 25.- Rodamiento rígido de dos hileras de bolas.

- Rodamientos rígidos de una hilera de bolas con escotes de llenado

Estos rodamientos presentan escotes tanto en el aro interior como en el exterior permitiendo la incorporación de más bolas y de mayor tamaño que los rodamientos rígidos de bolas estándar. Los rodamientos con escotes de llenado tienen más capacidad de carga radial que los rodamientos sin escotes de llenado, pero su capacidad de carga axial es limitada. Además son incapaces de funcionar a velocidades tan altas como los rodamientos sin escotes de llenado.



Figura 2. 26.- Rodamiento rígido de una hilera de bolas con escote de llenado.

2.4.3.2. Rodamientos de bolas con contacto angular

Los rodamientos de bolas con contacto angular tienen los caminos de rodadura de sus aros interior y exterior desplazados entre sí en la dirección del eje del rodamiento. Esto quiere decir que han sido diseñados para soportar cargas combinadas, es decir, cargas radiales y axiales simultáneas.

La capacidad de carga axial de los rodamientos de bolas con contacto angular se incrementa al incrementar el ángulo de contacto. El ángulo de contacto se define como el ángulo que forma la línea que une los puntos de contacto entre la bola y los caminos de rodadura en el plano radial, a lo largo de la cual se transmite la carga de un camino de rodadura al otro, con una línea perpendicular al eje del rodamiento.

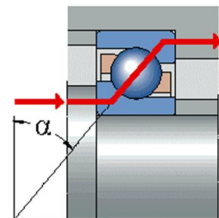


Figura 2. 27.-Ángulo de contacto en rodamientos de bolas con contacto angular.

Los más utilizados son:

- Rodamientos de una hilera de bolas con contacto angular

Los rodamientos de una hilera de bolas con contacto angular pueden soportar cargas axiales que actúen solamente en un sentido.

Normalmente los rodamientos de una hilera de bolas con contacto angular, tienen un resalte alto y otro bajo, aunque algunos rodamientos tienen un aro interior con dos resaltes altos como los rodamientos rígidos de bolas. El resalte bajo en uno o en ambos aros permite incorporar un gran número de bolas al rodamiento, permitiendo así una capacidad de carga relativamente alta. Estos rodamientos son de diseño no desarmable.



Figura 2. 28.- Rodamiento de una hilera de bolas con contacto angular.

- Rodamientos de dos hileras de bolas con contacto angular

Los rodamientos de dos hileras de bolas con contacto angular al igual que los rodamientos rígidos de dos hileras de bolas se usan cuando la capacidad de carga de los de una hilera es insuficiente ya que estos presentan una mayor capacidad de carga considerablemente más alta que los rodamientos de una hilera.



Figura 2. 29.-Rodamiento de dos hileras de bolas con contacto angular.

- Rodamientos de bolas con cuatro puntos de contacto

Los rodamientos de bolas con cuatro puntos de contacto son rodamientos radiales de una hilera de bolas con contacto angular con caminos de rodadura diseñados para soportar cargas axiales en ambos sentidos. Pueden soportar cargas radiales que no

superen una cierta proporción de la carga axial. Estos rodamientos ocupan bastante menos espacio axial que los rodamientos de dos hileras.

Estos rodamientos tienen un ángulo de contacto de 35° o 45° . El aro interior está partido permitiendo la incorporación de un gran número de bolas al rodamiento, dotándole de una gran capacidad de carga. Los rodamientos son de diseño desmontable, es decir, el aro exterior con las bolas y la jaula pueden montarse por separado de las dos mitades del aro interior.



Figura 2. 30.- Rodamiento de bolas con cuatro puntos de contacto.

2.4.3.3. Rodamientos de agujas

Son rodamientos con rodillos cilíndricos muy delgados y largos en relación con su menor diámetro. A pesar de su pequeña sección, estos rodamientos tienen una gran capacidad de carga y son eminentemente apropiados para las aplicaciones donde el espacio radial es limitado.

Los más utilizados son:

- Coronas de agujas

Las coronas de agujas son componentes completos y listos para montar en los rodamientos. Constituyen una elección excelente para aplicaciones que requieran una disposición de rodamientos muy rígida, así como una gran capacidad de carga.

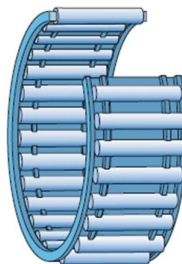


Figura 2. 31.- Rodamiento con corona de agujas.

- Casquillos de agujas

Los casquillos de agujas son rodamientos de agujas con un aro exterior delgado embutido con fondo o sin fondo. Se caracterizan por su pequeñísima sección transversal y su elevada capacidad de carga. Los casquillos de agujas se usan generalmente en aplicaciones en las que el agujero del soporte no se puede usar como camino de rodadura de una corona de agujas, pero se requiere una disposición de rodamientos muy compactos y económicos.

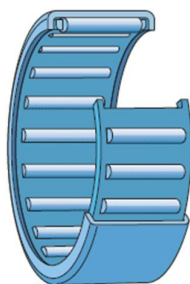


Figura 2. 32.- Rodamiento con casquillo de agujas sin fondo.

Los casquillos de agujas con fondo son adecuados para disposiciones de rodamientos en los extremos de ejes. El diseño perfilado de la base con fondo soporta pequeñas fuerzas axiales de guiado. Los casquillos de agujas suelen montarse directamente en el eje.

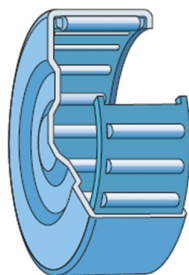


Figura 2. 33.- Rodamiento con casquillo de agujas con fondo.

El casquillo es de chapa de acero templado y la corona de agujas forma una unidad no desarmable. El espacio disponible para el lubricante es suficientemente amplio para permitir largos intervalos de lubricación.

Generalmente, los casquillos de agujas tienen una sola hilera de agujas.

Los casquillos de agujas se montan con un ajuste de interferencia en el agujero del alojamiento. Por ello, no se requieren resaltes ni anillos de retención para fijar el rodamiento axialmente, por lo que el diseño del alojamiento es simple y se puede conseguir de forma económica.

Para soportar cargas radiales y axiales combinadas, los casquillos de agujas se pueden combinar con un rodamiento axial de agujas con una espiga de centraje.

- Rodamientos de agujas con aros mecanizados

Los rodamientos de agujas con aros mecanizados de acero para rodamientos al cromo tienen una baja sección transversal y una capacidad de carga muy elevada para su tamaño. Dependiendo de la aplicación, se pueden utilizar con o sin aro interior.

Los rodamientos de agujas sin aro interior son una elección excelente para disposiciones de rodamientos compactas si se puede temprar y rectificar el eje. Al no ser necesario un aro interior, el diámetro del eje puede ser mayor, y por lo tanto, más fuerte y rígido. El desplazamiento axial del eje respecto del alojamiento sólo está limitado por la anchura del camino de rodadura del eje. Mecanizando los caminos de rodadura del eje conforme a las precisiones de dimensiones y forma adecuadas, se pueden conseguir disposiciones de rodamientos con una gran precisión de giro.

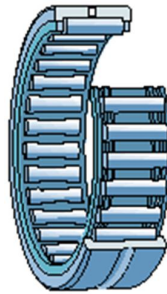


Figura 2. 34.- Rodamiento de agujas con aro mecanizado, sin aro interior.

Los rodamientos de agujas con aro interior se usan para las disposiciones en las que no es posible, o resulta muy costoso, temprar y rectificar el eje. Los rodamientos con aro interior sólo permiten el desplazamiento axial del eje respecto del alojamiento dentro de ciertos límites. Si el desplazamiento axial permisible proporcionado por un aro interior estándar es insuficiente, se puede usar un aro interior prolongado.



Figura 2. 35.- Rodamiento de agujas con aro mecanizado, con aro interior.

Para soportar cargas radiales y axiales combinadas, los rodamientos de agujas con aros mecanizados se pueden combinar con rodamientos axiales de agujas con espiga de centraje.

- Rodamientos de agujas autoalineables

Los rodamientos de agujas autoalineables tienen un aro exterior con superficie exterior esférica convexa. Sobre el aro exterior hay instalados dos aros de asiento de polímero con una superficie interior esférica cóncava que se introduce en un manguito de chapa de acero embutido, permitiendo que el rodamiento se alinee por sí mismo. Los rodamientos de agujas a rótula son por lo tanto insensibles a la desalineación estática del eje respecto al soporte. Se pueden dar con aro o sin aro interior.

Los rodamientos sin aro interior son la solución óptima para disposiciones compactas en las que el eje se puede templar y rectificar. En las aplicaciones en que no es posible o es excesivamente costoso templar y rectificar el eje, se deberán usar rodamientos con aro interior.



Figura 2. 36.- Rodamiento de agujas autoalineables, sin aro interior.

Los rodamientos con aro interior sólo permiten desplazamientos axiales del eje respecto al alojamiento dentro de ciertos límites. Si se van a producir desplazamientos axiales mayores, se podrán usar aros interiores prolongados, más anchos que los aros interiores estándar, estos aros interiores prolongados se deberán usar también cuando el camino de rodadura del aro interior vaya a servir como superficie de apoyo para una obturación adyacente al rodamiento.



Figura 2. 37.- Rodamiento de agujas autoalineables, con aro interior

2.4.3.4. Rodamientos de rodillos cónicos

El rodamiento de rodillos cónicos, debido a la posición oblicua de los rodillos y caminos de rodadura, es especialmente adecuado para resistir cargas radiales y axiales simultáneas. Para casos en que la carga axial es muy importante hay una serie de rodamientos cuyo ángulo es muy abierto. Este rodamiento debe montarse en oposición con otro rodamiento capaz de soportar los esfuerzos axiales en sentido contrario. El rodamiento es desmontable; el aro interior con sus rodillos y el aro exterior se montan cada uno separadamente.



Figura 2. 38.- Rodamiento de rodillos cónicos.

2.4.3.5. Rodamientos de rodillos cilíndricos de empuje

Son apropiados para aplicaciones que deben soportar pesadas cargas axiales. Además, son insensibles a los choques, son fuertes y requieren poco espacio axial. Son rodamientos de una sola dirección y solamente pueden aceptar cargas axiales en una dirección. Su uso principal es en aplicaciones donde la capacidad de carga de los rodamientos de bolas de empuje es inadecuada. Tienen diversos usos industriales, y su extracción es segura.

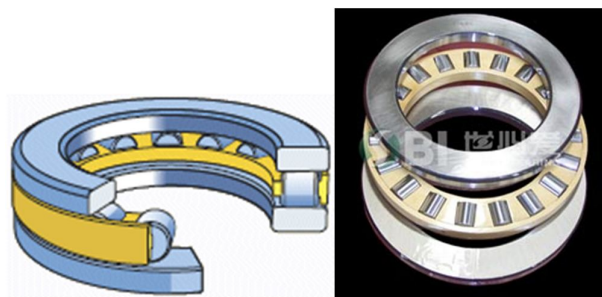


Figura 2. 39.- Rodamientos de rodillos cilíndricos de empuje.

2.4.3.6. Rodamientos axiales de rodillos a rótula

El rodamiento axial de rodillos a rótula tiene una hilera de rodillos situados oblicuamente, los cuales, guiados por una pestaña del aro fijo al eje, giran sobre la superficie esférica del aro apoyado en el soporte. En consecuencia, el rodamiento posee una gran capacidad de carga y es de alineación automática. Debido a la especial ejecución de la superficie de apoyo de los rodillos en la pestaña de guía, los rodillos giran separados de la pestaña por una fina capa de aceite. El rodamiento puede, por lo mismo, girar a una gran velocidad, aun soportando elevada carga. Contrariamente a los otros rodamientos axiales, éste puede resistir también cargas radiales.

2.4.3.7. Rodamientos de bolas a rótula

Los rodamientos de bolas a rótula tienen dos hileras de bolas que apoyan sobre un camino de rodadura esférico en el aro exterior, permitiendo desalineaciones angulares del eje respecto al soporte. Son utilizados en aplicaciones donde pueden producirse desalineaciones considerables, por ejemplo, por efecto de las dilataciones, de flexiones en el eje o por el modo de construcción. De esta forma, liberan dos grados de libertad correspondientes al giro del aro interior respecto a los dos ejes geométricos perpendiculares al eje del aro exterior.

Este tipo de rodamientos tienen menor fricción que otros tipos de rodamientos, por lo que se calientan menos en las mismas condiciones de carga y velocidad, siendo aptos para mayores velocidades.



Figura 2. 40.- Rodamiento de bolas a rotula.

2.4.3.8. Rodamientos de rodillos cilíndricos

Un rodamiento de rodillos cilíndricos normalmente tiene una hilera de rodillos. Estos rodillos son guiados por pestañas de uno de los aros, mientras que el otro aro puede tener pestañas o no. Además soportan grandes cargas radiales y poca capacidad de carga axial, además de que necesitan poco espacio axial. Para concluir son fuertemente y altamente resistentes a impactos.

Según sea la disposición de las pestañas, hay varios tipos de rodamientos de rodillos cilíndricos:

Guiados por pestañas, dependiendo de la disposición de estas tendremos:

- **Tipo NU: 2 pestañas aro exterior.** Sólo cargas radiales, desmontables y permiten desp. axiales relativos del alojamiento y eje en ambos sentidos.



Figura 2. 41.- Rodamiento de rodillos cilíndricos, tipo NU.

- **Tipo N: 2 pestañas aro interior.** Similar al UN.



Figura 2. 42.- Rodamiento de rodillos cilíndricos, tipo N.

- **Tipo NJ: 2 pestañas aro exterior 1 en interior.** Puede utilizarse para la fijación axial del eje en un sentido.

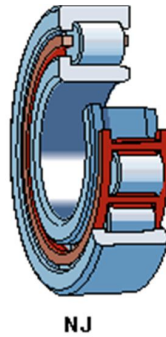


Figura 2. 43.- Rodamiento de rodillos cilíndricos, tipo NJ.

- **Tipo NUP: 2 pestañas integrales en exterior 1.** Pestaña integral y otra no integral en interior.

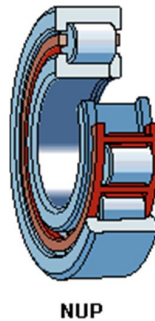


Figura 2. 44.- Rodamiento de rodillos cilíndricos, tipo NUP.

Los rodamientos de rodillos son más rígidos que los de bolas y se utilizan para cargas pesadas y ejes de gran diámetro.

2.4.3.9. Rodamientos de rodillos a rótula

El rodamiento de rodillos a rótula tiene dos hileras de rodillos con camino esférico común en el aro exterior siendo, por lo tanto, de alineación automática. El número y tamaño de sus rodillos le dan una capacidad de carga muy grande. La mayoría de las series puede soportar no solamente fuertes cargas radiales sino también cargas axiales considerables en ambas direcciones. Pueden ser reemplazados por cojinetes de la misma designación que se dará por medio de letras y números según corresponda a la normalización determinada.

2.4.3.10. Rodamientos axiales de bolas de simple efecto

El rodamiento axial de bolas de simple efecto consta de una hilera de bolas entre dos aros, uno de los cuales, el aro fijo al eje, es de asiento plano, mientras que el otro, el aro apoyado en el soporte, puede tener asiento plano o esférico. En este último caso, el rodamiento se apoya en una contraplaca. Los rodamientos con asiento plano deberían, sin duda, preferirse para la mayoría de las aplicaciones, pero los de asiento esférico son muy útiles en ciertos casos, para compensar pequeñas inexactitudes de fabricación de los soportes. El rodamiento está destinado a resistir solamente carga axial en una dirección.

2.4.3.11. Rodamientos de aguja de empuje

Pueden soportar pesadas cargas axiales, son insensibles a las cargas de choque y proveen aplicaciones de rodamientos duros requiriendo un mínimo de espacio axial.

También llamados coronas axiales de agujas, pueden soportar pesadas cargas axiales en un solo sentido, son insensibles a las cargas de choque y proveen aplicaciones de rodamientos duros, que requieren un mínimo de espacio axial.

Para soportar cargas en 2 sentidos existen rodamientos axiales de agujas de doble efecto, con centrado interno y externo.



Figura 2. 45.- Rodamiento de aguja de empuje.

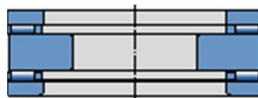


Figura 2. 46.- Corona axial de agujas de doble efecto con centrado interior.



Figura 2. 47.- Corona axial de agujas de doble efecto con centrado exterior..

2.5. RODAMIENTOS PARA CONDICIONES ESPECIALES

2.5.1. RODAMIENTOS HÍBRIDOS

Los aros de los rodamientos híbridos están hechos de acero para rodamientos y los elementos rodantes de nitruro de silicio (Si_3N_4). Además de ser unos excelentes aislantes eléctricos, los rodamientos híbridos pueden alcanzar una velocidad más alta y asegurar una mayor vida útil que los rodamientos hechos completamente de acero, en la mayoría de las aplicaciones.

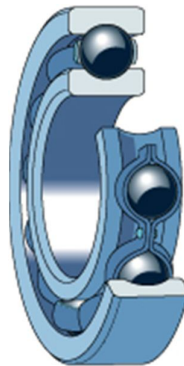


Figura 2. 48.- Rodamiento híbrido

Su gran capacidad para aislar la electricidad es una de las características esenciales del nitruro de silicio. Éste protege los aros de los daños causados por la corriente eléctrica y lo que se conoce como ondulaciones, e incrementa por tanto la vida útil del rodamiento.

La densidad del nitruro de silicio es de solamente el 40 % de la densidad del acero para rodamientos. Por tanto los elementos rodantes pesan menos y tienen una inercia menor. Esto implica menos tensión en la jaula durante los arranques y las paradas rápidas, además de una fricción considerablemente menor a velocidades altas, una fricción menor, significa que el rodamiento funciona a temperaturas más bajas y una larga vida útil del lubricante. Los rodamientos híbridos son por tanto, apropiados para las altas velocidades de giro.

El nitruro de silicio presenta una mayor dureza y una mayor elasticidad que el acero, lo que hace que el rodamiento tenga una mayor rigidez y una mayor vida útil en entornos contaminados

2.5.2. RODAMIENTOS CON AISLANTE.

Los rodamientos en motores eléctricos, generadores o equipos afines corren el riesgo de ser afectados por el paso de una corriente eléctrica, que podría dañar las superficies de sus elementos rodantes y caminos de rodadura además de degradar la grasa rápidamente. El riesgo de daño, denominado erosión eléctrica, es considerablemente mayor cuando un convertidor de frecuencia controla la maquinaria eléctrica, lo que es cada vez más común. Existe el riesgo adicional que suponen las corrientes de alta frecuencia en la aplicación, debido a las capacidades de dispersión inherentes dentro las máquinas eléctricas.

Para solucionar este problema y proteger los rodamientos del paso de la corriente eléctrica se dan los rodamientos aislados contra la electricidad integrando la función de aislamiento contra la electricidad dentro del rodamiento o en su parte externa.

Estos rodamientos tienen una capa nominal de óxido de aluminio de 100 μm de grosor en las superficies exteriores del aro exterior o interior, que puede soportar tensiones de hasta 1 000 V CC. Para recubrir al rodamiento con este aislante, se utiliza un spray de plasma, permitiendo un recubrimiento extremadamente coherente con un grosor uniforme, que posteriormente recibe un tratamiento para hacerlo insensible al vaho y a la humedad.



Figura 2. 49.- Rodamientos con aislamiento.

2.5.3. RODAMIENTOS PARA ALTAS/BAJAS TEMPERATURAS.

Para disposiciones de rodamientos que deban funcionar a temperaturas extremas en el margen de -150 a $+350$ °C, o que deban soportar diferencias de temperaturas muy grandes hacen que los rodamientos normales no sean apropiados, para ello se dan una serie de rodamientos que dependiendo de la aplicación que vaya a ser sometido pueden ser:

- Rodamientos para un margen de -20 a $+150$ °C. El rodamiento es abierto, lleva una jaula de chapa de acero y está lubricado con una pasta para altas temperaturas. Todas las superficies del rodamiento están fosfatadas al manganeso para protegerlo de la corrosión, mejorar sus propiedades de funcionamiento y proporcionar una buena adhesión del lubricante.

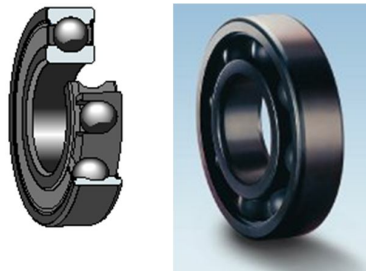


Figura 2. 50.- Rodamiento para altas/bajas temperaturas

- Rodamientos para un margen de -40 a $+250$ °C, estos ofrecen una protección adicional con placas a ambos lados para evitar la entrada de contaminantes sólidos y la fuga del lubricante.

- Rodamientos para un margen de -150 a $+350$ °C. Están equipados con placas de protección y una jaula de segmentos de grafito que sustituye la jaula de chapa de acero. El grafito lubrica el rodamiento, prolongando así su vida útil.

- Rodamientos para un margen de -150 a $+350$ °C. El rodamiento cuenta con placas de protección y está equipado con una jaula en forma de corona compuesta sólo de grafito, capaz de soportar cargas considerablemente más pesadas que la jaula de segmentos de grafito.

Las aplicaciones más típicas de estos rodamientos son por ejemplo en carillos de secadero, hornos o transportadores para los equipos de lacado.

2.5.4. RODAMIENTOS CON SOLID OIL

Estos rodamientos incorporan un sistema innovador de lubricación creado para proteger aquellos rodamientos utilizados en aplicaciones extremadamente exigentes, donde su re-lubricación resulta difícil y donde los altos niveles de contaminación afectan su funcionamiento.



Figura 2. 51.- Rodamiento con Solid Oil.

Este sistema utiliza un material polimérico que se moldea dentro del rodamiento y no perjudica su rendimiento o funcionalidad y que, según la aplicación, puede prolongar considerablemente su vida útil.

Los rodamientos con Solid Oil están lubricados de por vida, llevan una jaula y elementos rodantes convencionales, e incorporan una matriz polimérica saturada con aceite que llena por completo el espacio interno del rodamiento, dejando un intersticio muy estrecho alrededor de los elementos rodantes y los caminos de rodadura. La estructura (de material polimérico) con millones de micro-poros retiene hasta cuatro veces más aceite que en un rodamiento convencional lubricado con grasa, y permite la liberación gradual del aceite alrededor de las superficies móviles internas, garantizando una lubricación consistente y uniforme durante la vida de servicio de cada rodamiento.

Este sistema ofrece una serie de ventajas importantes sobre los rodamientos convencionales. En particular, permite una distribución uniforme del aceite sobre las superficies del rodamiento, independientemente de la temperatura de funcionamiento. Por ejemplo, a bajas temperaturas, un rodamiento con Solid Oil tiene un par de arranque extremadamente bajo en comparación con los rodamientos lubricados con grasa. Análogamente, al subir la temperatura de funcionamiento, aumenta la necesidad de lubricante por la disminución de viscosidad del aceite, y al tiempo, éste dilata aflorando a la superficie del polímero para satisfacer esta necesidad. Cuando el rodamiento deja de girar, la matriz de polímero reabsorbe el exceso de aceite.

Adicionalmente, los rodamientos con Solid Oil son ideales para ser utilizados en aplicaciones altamente contaminadas, ya que la matriz polimérica evita la entrada de polvo, humedad y disolventes al rodamiento, así como en aplicaciones con elevadas aceleraciones, ya que la matriz impide que el aceite sea centrifugado.

2.5.5. RODAMIENTOS DE MATERIAL POLIMÉRICO

Los rodamientos de bolas de polímero constan de

- Aros de polímero
- Bolas hechas de acero inoxidable, vidrio, polímero u otros materiales
- Una jaula de polímero.



Figura 2. 52.- Rodamientos de material polimérico.

Los rodamientos de bolas poliméricos se pueden fabricar en diversos materiales y combinaciones de materiales. Los materiales seleccionados dependen de la aplicación. Los polímeros cuentan con unas propiedades muy distintas a las del acero. Una de sus propiedades más características es su resistencia a la corrosión y a las sustancias químicas.

Los polímeros utilizados para fabricar los rodamientos tienen un bajo coeficiente de fricción y son muy resistentes al desgaste y a la fatiga. Estos rodamientos autolubricados pueden funcionar en seco y no precisan lubricante.

Sin embargo, la carga y la velocidad máxima que puede soportar un rodamiento polimérico son muy inferiores a las de los rodamientos convencionales totalmente de acero.

La elevada resistencia específica (relación resistencia-peso) es una propiedad valiosa de los rodamientos de polímero, especialmente en aplicaciones donde el peso es un factor importante para el diseño. Se consigue una alta estabilidad dimensional durante la vida útil del rodamiento gracias a la baja tendencia al deslizamiento de los polímeros utilizados.

Estos rodamientos presentan varias ventajas:

- Resistentes a la corrosión
- Resistentes a las sustancias químicas
- Autolubrificantes (no precisan lubricante)
- Peso ligero (80 % menos que el acero)
- Algunos pueden utilizarse a altas temperaturas
- Bajo coeficiente de fricción
- Funcionamiento silencioso
- Buenas propiedades amortiguadoras
- Aislante eléctrico
- Costes del ciclo de vida bajos

2.5.6. RODAMIENTOS CON SENSORES.

Estos rodamientos incorporan una serie de sensores para poder contar con la información exacta sobre el estado de funcionamiento de los componentes que giran o se desplazan axialmente como puede ser:

- El número de revoluciones
- La velocidad
- La dirección de giro
- La posición relativa/recuento
- La aceleración o deceleración

Estos rodamientos con sensor suelen constar de un rodamiento rígido de bolas, una unidad sensora activa protegida de las influencias externas y un aro impulsor formando todo ello una unidad integral. Se diseñan especialmente para funcionar como codificadores incrementales para el control de motores y/o máquinas. Están especialmente adaptadas para ajustarse a motores asíncronos, y permiten una codificación compacta y fiable para su control más exigente. Sus aplicaciones abarcan todo tipo de procesos automatizados como por ejemplo sistemas transportadores.



Figura 2. 53.- Rodamiento con sensor.

2.6. DEFECTOLOGÍA EN RODAMIENTOS

Los rodamientos se encuentran entre los componentes más importantes en la inmensa mayoría de las máquinas, exigiéndose de ellos una gran capacidad de carga y fiabilidad. Desgraciadamente, no poseen una vida infinita y, antes o después, terminan rompiéndose, aunque si son correctamente seleccionados, lubricados apropiadamente y no se usan de forma abusiva pueden durar tanto tiempo como las máquinas en las que están instalados. Esto último no siempre es así ya que, por diversos motivos, se producen averías en ellos que obligan a su reemplazamiento.

Dada su gran importancia han sido objeto de profundos estudios, que han permitido darles una vida de servicio equiparable a la de la máquina que lo aloja. Cada uno de los factores que producen averías origina su propio tipo de fallo e imprimen su particular huella en el rodamiento. Por ello, en la mayoría de los casos, examinando un rodamiento averiado es posible formar una opinión sobre la causa del fallo y adoptar la medida precisa para evitar su repetición.



Figura 2. 54.- Defecto rodamiento.

La vida de un rodamiento se puede definir como el número de revoluciones que el rodamiento efectúa antes de que se produzca un fallo incipiente (desconchado). Esto no significa que el rodamiento no pueda ser utilizado después. El descascarillado es un proceso continuo y relativamente prolongado y anuncia su presencia por el incremento de los niveles de ruido y vibración en el rodamiento. En consecuencia y, por regla general, hay cierto tiempo para efectuar un cambio de rodamiento.

Incluso en las condiciones de servicio más favorables, un rodamiento no puede funcionar eternamente porque, antes o después, se producirá la fatiga del material. El período de tiempo que transcurre hasta que aparece el primer signo de fatiga es función del número de revoluciones a que es sometido el rodamiento y a la magnitud de la carga.

Sin embargo, la gran mayoría de los rodamientos no alcanzan la vida nominal calculada. Esto puede ser debido a varias razones: lubricación inadecuada, cargas más elevadas de las previstas, obturaciones ineficaces, ajustes demasiado fuertes o excesivo juego interno, etc. Cada uno de estos factores origina su avería característica e imprime

su particular huella en el rodamiento, de forma que, en la mayoría de los casos, inspeccionando los elementos del rodamiento averiado es posible establecer la causa del fallo.

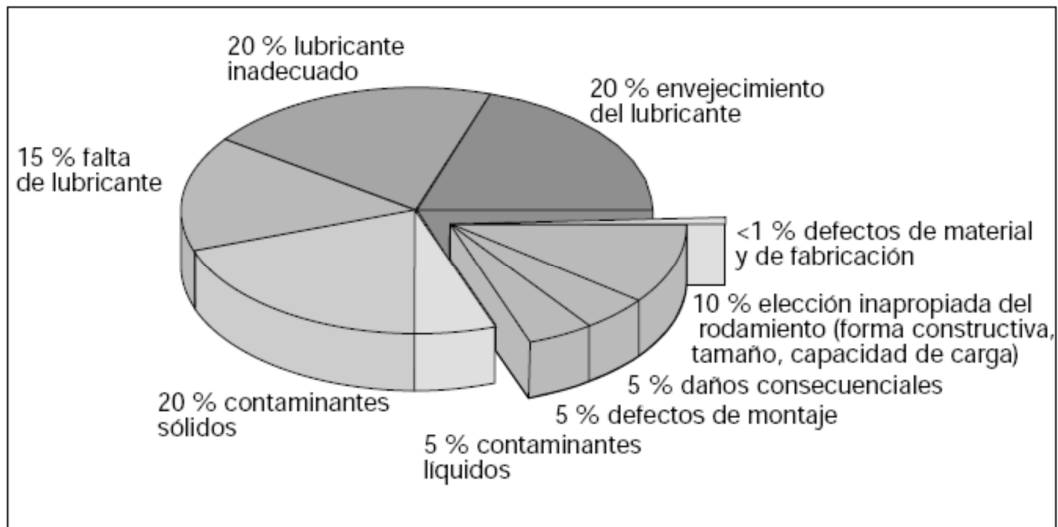


Figura 2. 55.- Causas de los fallos en los rodamientos (FAG).

Cada avería primitiva del rodamiento genera su propio deterioro característico. Este, conocido como daño primario, da lugar a daños secundarios que inducen al daño más grave: desconchado y rotura. Frecuentemente, un rodamiento averiado ostenta una combinación de daño inicial y daño secundario.

Los diferentes tipos de daños que se producen en los rodamientos se pueden clasificar de la siguiente manera:

Daño inicial o primario	Daño secundario
Desgaste	Desconchado (descascarillado)
Muecas	Roturas
Adherencia	
Fatiga superficial	
Corrosión	
Daño por corriente eléctrica	

Figura 2. 56.- Tabla de tipos de daños en rodamientos.

2.6.1. DESGASTE

En condiciones normales, no existe desgaste apreciable en los rodamientos, sin embargo, este puede producirse como resultado de la presencia de partículas extrañas dentro del rodamiento, cuando la lubricación es insatisfactoria o debido a vibraciones en rodamientos que permanecen estacionarios.

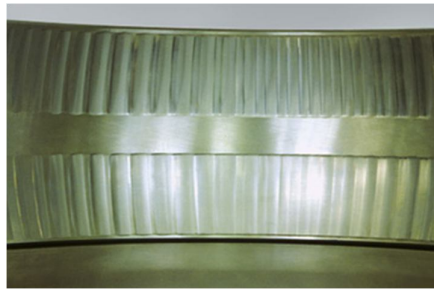


Figura 2. 57.- Desgaste rodamiento.

2.6.1.1. Desgaste producido por partículas abrasivas.

El desgaste debido a la contaminación partículas abrasivas, no sólo ocurre en la superficie en deslizamiento, sino también en las superficies de los elementos rodantes.

La cantidad de partículas abrasivas se incrementa, gradualmente, a medida que el material se va desprendiendo de los caminos de rodadura y de la jaula. Por lo que el desgaste se convierte en un proceso acelerado, hasta el punto de hacer inservible el rodamiento. Sin embargo no es necesario tirar a la chatarra rodamientos ligeramente desgastados ya que pueden ser utilizados de nuevo después de una buena limpieza.

Estos defectos se deben a una ausencia de limpieza antes y durante la operación de montaje o el uso de un lubricante contaminado debido a partículas de la jaula de latón.

El efecto que tendría sería la aparición de pequeñas muescas en el contorno de los caminos de rodadura y elementos rodantes dándose superficies opacas y desgastadas.

Para evitar esta defectología debemos desembalar los rodamientos justo antes de ser montados, mantener limpio el taller y usar herramientas limpias, verificar y posiblemente mejorar la estanqueidad y utilizar siempre lubricante nuevo y limpio, limpiando los engrasadores y filtrando el aceite.

2.6.1.2. Desgaste producido por lubricación inadecuada.

Si no hay suficiente lubricante o si éste ha perdido sus propiedades lubricantes se produce un contacto metálico entre los elementos rodantes y los caminos de rodadura. Los picos de rugosidad, remanentes del proceso de fabricación, se desprenden y, al mismo tiempo, se obtiene un cierto efecto de laminado. La fatiga superficial también puede surgir en esta etapa. Si el lubricante está completamente agotado la temperatura se elevará rápidamente, entonces el material templado se reviene y la superficie adquiere matices entre azul y pardo. La temperatura puede llegar a ser tan alta como para producir el gripado del rodamiento.

Para evitar este tipo de defectología se debe comprobar que el lubricante llega al rodamiento y dar una relubricación más frecuente.

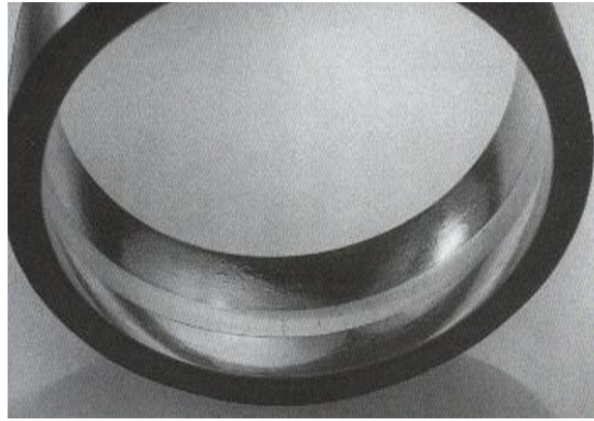


Figura 2. 58.- Desgaste producido por una lubricación inadecuada.

2.6.1.3. Desgaste producido por vibración.

Cuando un rodamiento no gira no se forma la película de lubricante entre los elementos rodantes y los caminos de rodadura. La ausencia de esta película permite el contacto metálico y la vibración produce pequeños movimientos relativos entre los elementos rodantes y los aros. Como resultado de este movimiento, se rompen pequeñas partículas de la superficie y esto lleva a la formación de depresiones en los caminos de rodadura. Este deterioro es conocido como vibrocorrosión (falsa huella Brinell). Las bolas producen cavidades esféricas mientras que los rodillos producen acanaladuras.

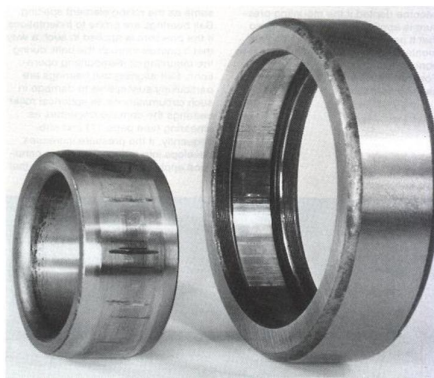


Figura 2. 59.- Aro interior y exterior de un rodamiento de rodillos cilíndricos expuesto a vibraciones.

En muchos casos es posible percibir herrumbre roja en el fondo de las depresiones que está originada por la oxidación (como resultado de su exposición al aire) de partículas desprendidas que presentan una gran área en relación con su volumen. Nunca existe deterioro visible en los elementos rodantes.

Cuanto mayor es la energía de vibración, más severo es el daño. El período de tiempo y la magnitud del juego interno del rodamiento también se hacen notar, sin embargo, la frecuencia de las vibraciones no parece tener ningún efecto considerable.

Los rodamientos de rodillos han demostrado ser más sensibles a este tipo de deterioros que los rodamientos de bolas. Esto se debe a que las bolas pueden rodar en cualquier dirección mientras que los rodillos sólo ruedan en una dirección, y el movimiento en otras direcciones se efectúa forma de deslizamiento.

Los rodamientos con deterioro por vibración se encuentran generalmente en máquinas que no están funcionando pero cercanas a otras máquinas que producen vibraciones.

Para evitar esta defectología se debe asegurar el rodamiento durante el transporte mediante precarga radial. Proveer una base antivibratoria. Utilizar, si es posible, rodamientos de bolas en lugar de los de rodillos. Emplear lubricación por baño de aceite, si es posible.

2.6.2. MUESCAS

Los caminos de rodadura y los elementos rodantes del rodamiento pueden llegar a presentar muescas si la presión de montaje está aplicada al aro equivocado, de forma que esta se transmite a través de los elementos rodantes, ora porque el rodamiento está sujeto a cargas anormales mientras no está girando, ora debido a partículas extrañas en el rodamiento.

2.6.2.1. Muestras producidas por defecto de montaje o sobrecarga.

Cuando se produce esta defectología, la distancia entre las huellas es idéntica al espacio existente entre los elementos rodantes. Los rodamientos de bolas son propensos a muescas si la presión es aplicada de tal modo que se transmita a través de las bolas durante las operaciones de montaje o desmontaje. Los rodamientos de bolas a rótula son particularmente susceptibles a deterioro en tales circunstancias. En cambio, los rodamientos de rodillos a rótula el deterioro sobreviene como adherencia y, posteriormente, si se incrementa la presión, llega a convertirse en una huella. Las mismas condiciones son aplicables a rodamientos de rodillos cónicos que, sin girar, se precargan demasiado.

Los rodamientos que se montan con excesiva interferencia y los rodamientos con agujero cónico que se calan demasiado en el asiento del eje o manguito, también llegan a mellarse.

Para evitar esta defectología en los rodamientos, se debe aplicar la presión de montaje al aro con ajuste de interferencia y evitar sobrecargas o usar rodamientos con una mayor capacidad de carga estática.



Figura 2. 60.- Arandela de un rodamiento axial de bolas sujeto a sobrecarga mientras no gira. Las muescas, estrechas y radialmente alineadas, no son esféricas como en los rodamientos radiales de bolas.

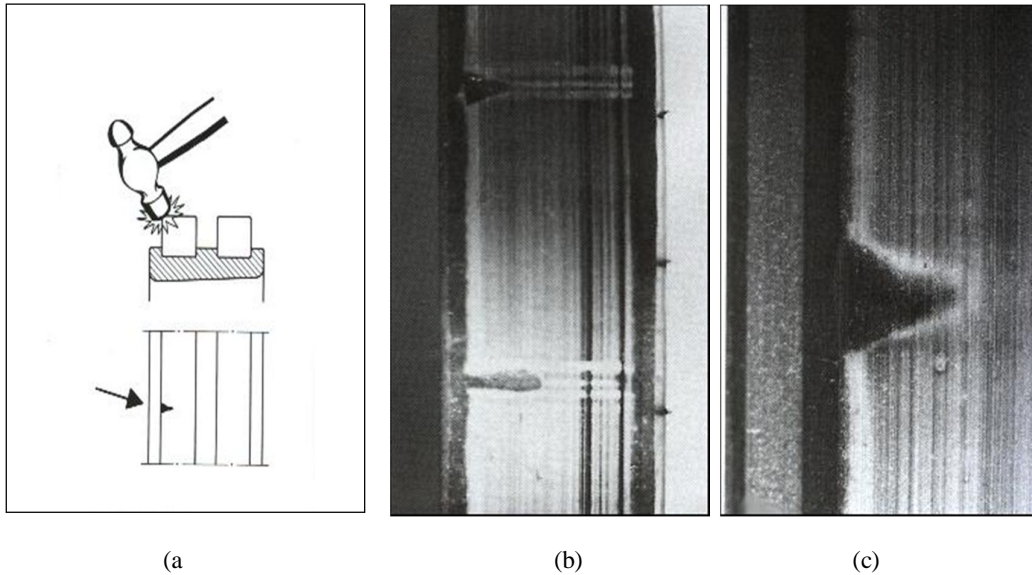


Figura 2. 61.- a-b-c.- Ejemplo de los resultados de una manipulación indebida. En un rodamiento de dos hileras de rodillos cilíndricos, un rodillo ha sufrido un impacto (fig. 2.63 a). Una vista periférica del rodillo (fig. 2.63 b) muestra dos muescas diametralmente opuestas. El rodillo, a su vez, ha marcado el camino de rodadura del aro interior (fig. 2.63c).

2.6.2.2. Muestras producidas por partículas extrañas.

Las partículas extrañas causan muescas cuando son arrolladas en los caminos de rodadura por los elementos rodantes. Las partículas que producen las muescas no tienen por qué ser de material duro ya que fragmentos delgados de papel e hilos desprendidos de algodón o de trapos usados para limpieza, pueden provocar esta avería. Las muescas causadas por estas partículas son en las mayorías de los casos, pequeñas y distribuidas por los caminos de rodadura.

Para evitar este tipo de defectología se debe de observar bien la limpieza durante el montaje y usar lubricantes no contaminados



Figura 2. 62.- Muestras provocadas por suciedad.

2.6.3. ADHERENCIAS

La adherencia es un fenómeno que se da cuando dos superficies lubricadas deslizan entre sí, bajo carga y el material se transfiere de una a otra provocando un desgarre de las superficies. Cuando esto se produce, el material alcanza generalmente tales temperaturas que da lugar a revenido. Esto produce concentraciones de fatiga localizadas que pueden originar agrietamiento o desconchado.

En los rodamientos de rodillos el deslizamiento se produce principalmente entre superficies en el extremo de rodillo-pestaña de guía. La adherencia también puede surgir cuando los rodillos están sometidos a severa aceleración al entrar en la zona de carga. Si los aros giran respecto a su asiento en el eje o soportes, también se puede provocar adherencias en el agujero, diámetro exterior o caras laterales de dichos aros.

En los rodamientos axiales de bolas, la adherencia puede ocurrir si la carga es demasiado ligera con relación a la velocidad de rotación.

2.6.3.1. Adherencia de extremos de rodillos y pestañas de guía.

En rodamientos de rodillos cilíndricos y cónicos, y en rodamientos de rodillos a rótula con pestañas de guía, se puede producir adherencias sobre las caras de guía de las pestañas y los extremos de los rodillos. Esto se atribuye a lubricación insuficiente entre pestañas y rodillos. Ocurre cuando una carga axial fuerte actúa en un sentido durante mucho tiempo, por ejemplo cuando los rodamientos de rodillos cónicos están sometidos a excesiva precarga. En los casos en que la carga axial cambia de sentido, la adherencia es menos común, ya que cuando el extremo del rodillo queda descargado hay mayor oportunidad para que el lubricante entre. Mediante un lubricante adecuado se pueden evitar en gran medida tales adherencias.

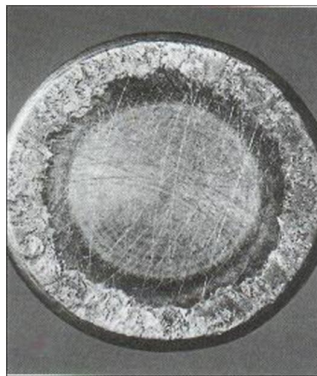


Figura 2. 63.- Rodillo cilíndrico con adherencias en el extremo, causadas por fuerte carga axial y lubricación inadecuada.

2.6.3.2. Adherencia por patinado de rodillos y caminos de rodadura.

En ciertas circunstancias se pueden presentar adherencias sobre superficies de rodillos y en caminos de rodadura de rodamientos de rodillos cilíndricos y a rótula. Esto se produce al estar retardada la rotación de los rodillos en la zona sin carga, cuando éstos no son conducidos por los aros.

Consecuentemente su velocidad de rotación es entonces menor que cuando están en la zona con carga. Los rodillos están sometidos a una rápida aceleración y el deslizamiento resultante es tan grande que puede producir adherencia.

Esta defectología se podría evitar usando un lubricante más adecuado y reduciendo el juego interno del rodamiento.

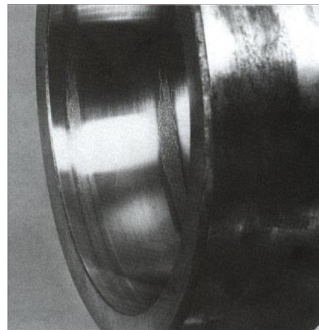


Figura 2. 64.- Adherencia sobre la superficie de un rodillo de un rodamiento de rodillos a rótula.

2.6.3.3. Adherencia de caminos a intervalos correspondientes al espacio entre rodillos.

Con demasiada frecuencia, cuando los rodamientos de rodillos cilíndricos están siendo montados, el conjunto del aro con rodillos y jaula se introduce de manera inclina, llegar a ser girados. Entonces los rodillos marcan el camino de rodadura del otro aro, en forma de trazos largos y transversales. Este tipo de fallo puede ser evitado si el rodamiento está bien lubricado y uno de los aros se gira. Cuando se monta un número de rodamientos elevado es oportuno utilizar un anillo guía de montaje.

Puede surgir un daño parecido si los aros del rodamiento se montan con ajuste demasiado fuerte en relación con el juego interno, tal como ocurre con la precarga.

Los trazos de adherencia también pueden aparecer entre los caminos de rodadura de rodamientos de rodillos a rótula o cónicos. Estos trazos son el resultado de una mala manipulación o de prácticas incorrectas de montaje. Los impactos o fuerte presiones aplicadas al aro equivocado, sin girar el rodamiento, hacen que los rodillos produzcan marcas transversales estrechas de adherencia en los caminos de rodadura.

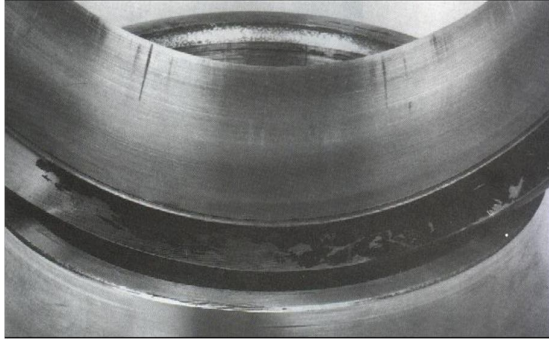


Figura 2. 65.- Camino de rodadura del aro exterior de un rodamiento de rodillos a rótula con trazos de adherencia producidos por un golpe contra el aro interior.

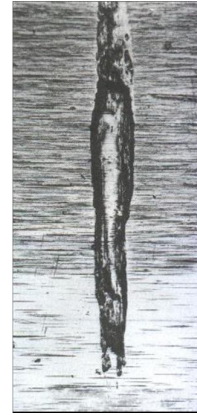


Figura 2. 66.- Detalle de uno de los trazos de adherencia.

2.6.3.4. Adherencia de superficies externas.

La adherencia puede aparecer sobre las superficies externas de rodamientos fuertemente cargados. La adherencia, en este caso, es el resultado de movimientos relativos entre el aro del rodamiento y su eje o soporte, produciéndose una superficie deteriorada y descolorida tanto en la superficie externa del aro interior como del aro exterior.

Esta adherencia solo se puede si los ajustes son tan estrechos como para impedir el movimiento del aro respecto a su asiento correspondiente. Una compresión axial más fuerte no sirve.



Figura 2. 67.- Superficie exterior con adherencias en el aro exterior de un rodamiento de rodillos a rótula.

2.6.3.5. Adherencia de superficies internas.

Este tipo de adherencia ocurre en los rodamientos axiales de bolas cuando la velocidad de rotación es demasiado alta en relación con la carga ya que la fuerza centrífuga impulsa las bolas hacia la parte externa de los caminos de rodadura donde las bolas no ruedan satisfactoriamente por las pistas. Esto conduce a la formación de marca diagonales en la parte externa de los caminos de rodadura.

Tal deterioro puede evitarse sometiendo al rodamiento a una carga adicional como por ejemplo la aplicación de muelles.

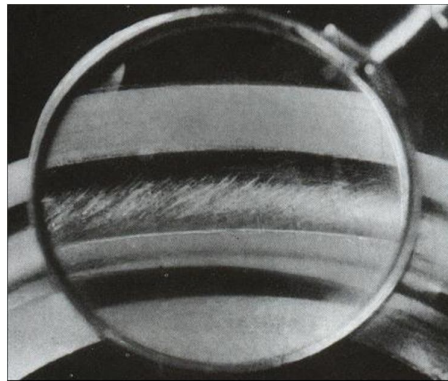


Figura 2. 68.- Camino de rodadura de rodamiento axial de bola con marcas debidas a una velocidad de giro demasiado elevada en relación con la carga.

2.6.4. FATIGA SUPERFICIAL

Si la película de lubricante entre los caminos de rodadura y los elementos rodantes llega a ser demasiado fina, las crestas de asperezas superficiales entrarán momentáneamente en contacto entre sí, entonces, se producirán pequeñas grietas en la superficie, lo cual se conoce como fatiga superficial.

Estas grietas no deben confundirse con las grietas de fatiga, que se originan debajo de la superficie y conducen al descascarillado, las grietas de fatiga superficial son microscópicamente pequeñas y crecen, gradualmente, hasta un tamaño tal que interfieren en el rodaje del rodamiento. Estas grietas pueden, sin embargo, acelerar la formación de grietas de fatiga bajo la superficie y acortar así la vida del rodamiento.

Si la lubricación se mantiene siempre satisfactoria, es decir, si la película de lubricante no llega a ser muy delgada no hay riesgo de fatiga superficial.



Figura 2. 69.- Fatiga superficial en forma de una banda rodeando el rodillo de un rodamiento de rodillos a rótula.

2.6.5. CORROSIÓN

Si se introduce agua o agentes corrosivos en el rodamiento, en tal cantidad que el lubricante no puede ofrecer protección para la superficie del acero, se formará óxido, tal y como se muestran en las siguientes figuras.

Si este proceso no se resuelve a tiempo conducirá pronto a zonas de óxido profundo.

Otro tipo de corrosión que también se produce en los rodamientos es la oxidación de contacto.



Figura 2. 70.- Oxidación en el aro interior de un rodamiento cónico. La oxidación tiene un espaciado equivalente a la distancia entre elementos rodantes. La oxidación se ha producido por la presencia de agua en el lubricante.



Figura 2. 71.- Corrosión en el anillo interior de un rodamiento de rodillos esféricos a rótula, producida por la entrada de agua en el rodamiento.



Figura 2. 72.- Oxidación en el aro exterior de un rodamiento cónico. La oxidación tiene un espaciado equivalente a la distancia entre elementos rodantes. La oxidación se ha producido por la presencia de agua en el lubricante.

2.6.5.1. Oxido profundo.

Se produce cuando una delgada película protectora de óxido se forma sobre las superficies limpias del acero expuestas al aire. Sin embargo, esta película no es impenetrable y si el agua o elementos corrosivos toman contacto con las superficies del acero se formarán manchas de grabado. Estas pronto evolucionan dando lugar a zonas de óxido profundo.

Las zonas de óxido profundo suponen un gran peligro para los rodamientos ya que pueden iniciar el desconchado y formación de grietas.

Los materiales que más influyen para el proceso de oxidación son los ácidos ya que corroen el acero rápidamente, como por ejemplo las sales que están presentes en el agua ya que constituyen un electrolito que causa una corrosión galvánica, conocida como “grabado al agua”.

Para evitar esta oxidación basta con mejorar la obturación y utilizar lubricantes con mejores propiedades inhibidoras.



2.6.5.2. Corrosión de contacto.

Si se perfora la fina película de óxido, la oxidación continuará más profundamente dentro del material. Un ejemplo de esto es la corrosión que acontece cuando existe movimiento relativo entre el aro del rodamiento y eje o soporte, a causa del ajuste demasiado flojo. Este tipo de daño se llama corrosión de contacto y puede ser relativamente profunda localmente. El movimiento relativo puede producir también pequeñas partículas de material que se llegan a desprender de la superficie. Estas partículas se oxidan rápidamente cuando quedan expuestas al oxígeno en la atmósfera.

Como consecuencia de la corrosión de contacto, los aros del rodamiento pueden no estar soportados uniformemente y esto tiene un desfavorable efecto sobre la distribución de la carga. Las áreas oxidadas también actúan como defecto de entalla.

2.6.6. AVERÍA PRODUCIDA POR PASO DE CORRIENTE ELÉCTRICA

Cuando la corriente eléctrica pasa a través de un rodamiento, es decir, pasa de un aro a otro a través de los elementos rodantes, el proceso que se da en las superficies en contacto es similar al de soldadura por arco eléctrico y esto provoca que el material se caliente alcanzando niveles de temperaturas desde temple hasta fusión.

Esto conduce a la aparición de áreas descoloridas, variando en tamaño, donde el material ha sido templado, revenido o fundido formándose también pequeños cráteres allí donde el material ha fundido.

Puede ser difícil distinguir entre fallo por corriente eléctrica y fallo por vibración. Una característica del estriado causado por corriente eléctrica es el fondo oscuro de la marca, opuesto al brillante o rojizo fondo del estriado producido por la vibración. Otra característica sobresaliente es la ausencia de fallo en los elementos rodantes cuando hay vibración.

Tanto la corriente alterna como la continua causan daño en los rodamientos, incluso corrientes de baja intensidad son peligrosas. Los rodamientos que no giran ofrecen mucha más resistencia al daño por corriente eléctrica que los que giran.

La magnitud de los daños depende de varios factores, tales como la intensidad de corriente, duración carga sobre el rodamiento, velocidad y lubricante.

La única forma de evitar daños es impedir cualquier paso de corriente eléctrica a través del rodamiento

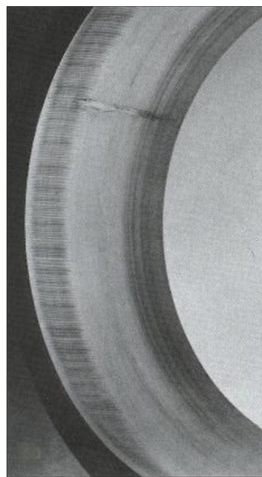


Figura 2. 73.- Estrías causadas por el paso de corriente eléctrica en el aro exterior de un rodamiento de rodillos a rótula.

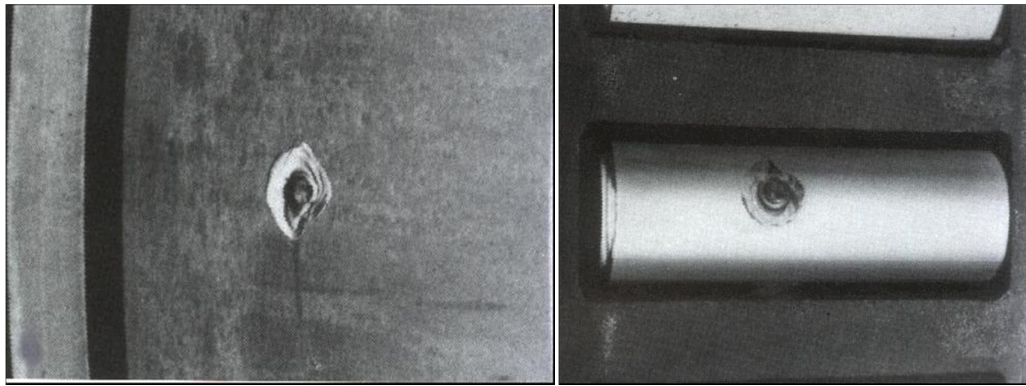


Figura 2. 74.- Rodamiento de ferrocarril dañado en una pista y en el rodillo por el paso de corriente de alta intensidad mientras el rodamiento permanecía inmóvil.

2.6.7. DESCONCHADO O DESCASCARILLADO

El período de tiempo que transcurre hasta que aparece el primer signo de fatiga en un rodamiento es función del número de revoluciones a que es sometido y de la magnitud de la carga, cuando estos esfuerzos se prolongan causan grietas que se extienden gradualmente hasta la superficie. Conforme los elementos rodantes alcanzan los fragmentos agrietados del material, estos rompen.

Esto es conocido como “flaking” o “spalling” (desconchado o descascarillado), el desconchado se incrementa progresivamente en extensión y finalmente deja del rodamiento inservible.

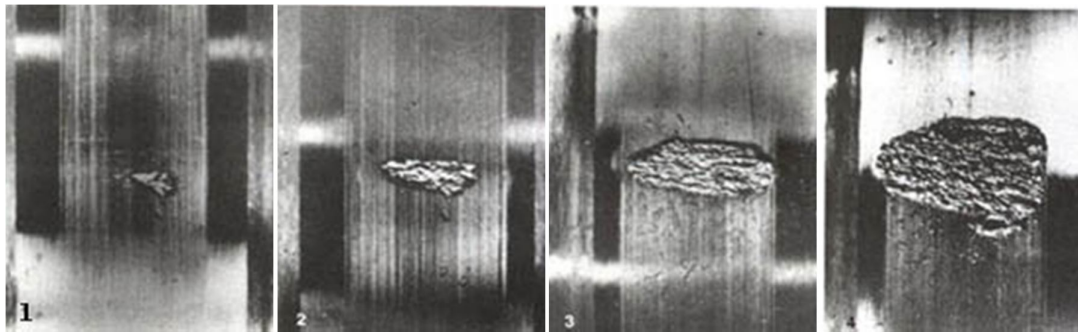


Figura 2. 75.- Fases progresivas del desconchado.

Sin embargo, esta no es la causa más corriente de desconchado, ya que se le puede atribuir a otros factores.

Si se descubre en una etapa inicial, cuando el deterioro no está demasiado extendido, frecuentemente es posible diagnosticar su causa y tomar medidas necesarias para evitar una repetición de la avería.

Cuando el desconchado ha proseguido hasta un cierto nivel, hace notar su presencia en forma de ruido y vibración, lo que sirve como advertencia de que es el momento para sustituir el rodamiento.

Las causas de un desconchado prematuro pueden ser unas cargas externas demasiado elevadas, precargas a causa de ajustes incorrectos, excesivo calado en asiento cónico, ovalidad debida a error de redondez del asiento en eje o alojamiento, compresión axial como resultado de dilatación térmica, etc. El desconchado puede estar causado también por otros tipos de daños tales como muescas, corrosión profunda, corriente eléctrica perjudicial o adherencias.

2.6.7.1. Desconchado producido por precarga.

En este tipo de desconchado se da una huella firmemente señalada en los caminos de rodadura de ambos aros dándose el desconchado normalmente en la zona más cargada.

Esto se debe a precargas causadas por la existencia de ajustes demasiado fuertes, calado excesivo en asientos cónicos o una excesiva diferencia de temperatura entre aros interior y exterior.

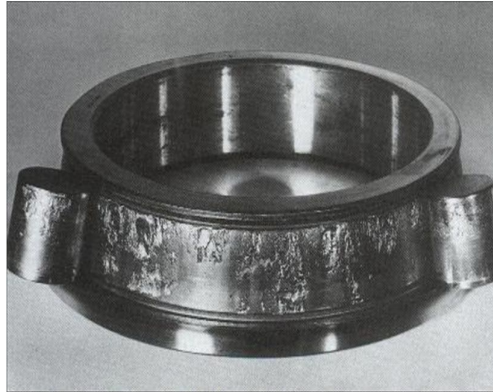


Figura 2. 76.- Pista interior y rodillos desconchados, en un rodamiento de rodillos cónicos. Las causas de esta avería son carga pesada y lubricación inadecuada.

2.6.7.2. Desconchado producido por compresión oval.

El aspecto que presenta este tipo de desconchado son unas huellas firmemente señaladas en dos sectores diametralmente opuestos de cada aro del rodamiento, causados por asientos ovalados en el eje o soporte.

Para paliar este tipo de defectos es necesario fabricar un nuevo eje o soporte o metalizar la pieza y rectificarla.

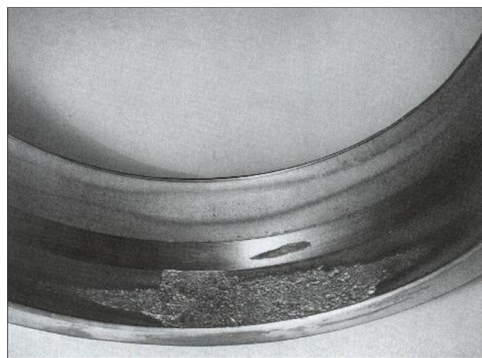


Figura 2. 77.- Desconchado del aro exterior de un rodamiento de rodillos a rótula que ha sido montado en un alojamiento ovalado.

2.6.7.3. Desconchado producido por compresión axial.

Para este tipo de descorchado, dependiendo del tipo de rodamiento al que este afectado puede presentar varios aspectos:

- Rodamientos rígidos de bolas: huella firmemente marcada, desplazada en ambos aros.
- Rodamientos de bolas y de rodillos a rótula: huella firmemente marcada por una hilera de elementos rodantes.

Este defecto es producido por un montaje incorrecto, que se traduce en carga axial, por ejemplo, excesiva precarga de rodamientos de bolas con contacto angular y de rodillos cónicos.

También puede ser causado porque el rodamiento libre se ha frenado o que la libertad de movimiento axial que se debe de dejar para absorber la dilatación térmica no ha sido suficiente.

Para evitar estos desconchados se debe comprobar y verificar el ajuste al montar el rodamiento, lubricar las superficies y dar una mayor libertad de movimiento si la diferencia de temperatura entre el eje y el alojamiento no puede reducirse.

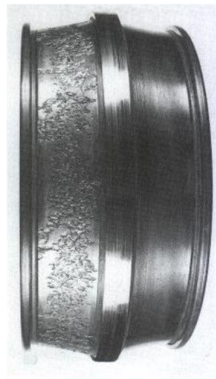


Figura 2. 78.- Aro interior desconchado de un rodamiento de rodillos a rótula. La extensión de las marcas, enteramente alrededor de uno de los caminos de rodadura, indica que la carga axial ha sido muy grande con relación a la carga radial.

2.6.7.4. Desconchado producido por desalineación.

Para este tipo de descorchado, al igual que el anterior, puede presentar varios aspectos dependiendo del tipo de rodamiento:

- Rodamiento rígido de bolas: huella diagonal, firmemente marcada en dos sectores diametralmente opuestos.
- Rodamientos de rodillos cilíndricos: desconchado en el borde del camino de rodadura.



Este desconchado se puede dar por una desalineación de los asientos de los rodamientos o una superficie de apoyo inclinada.

2.6.7.5. Desconchado producido por muesca.

Este tipo de desconchado es producido por muescas resultantes de montajes defectuosos o sobrecargas en rodamientos que no giran o producidas por partículas extrañas, dando este desconchado junto a estas muescas.

2.6.7.6. Desconchado producido por adherencias.

Este tipo de desconchado es producido adherencias transversales por montaje defectuoso o adherencias por arrastre, dándose el desconchado al comienzo de la zona de carga en los caminos de rodadura de rodamientos de rodillos o coincidiendo con el espacio entre rodillos en caminos de rodadura de rodamientos de rodillos.

2.6.7.7. Desconchado producido por óxido profundo y corrosión de contacto

El desconchado en este caso es originado por los daños de corrosión causados por el óxido profundo o por la corrosión de contacto dándose en este caso en el camino de rodadura de uno u otro aro.

2.6.7.8. Desconchado producido por acanaladuras o cráteres.

El desconchado en este caso es originado por vibraciones mientras el rodamiento permanecía inmóvil o por paso de corriente eléctrica, dándose el desconchado junto a las acanaladuras o cráteres tanto corroídos o brillantes como quemados u oscurecidos.

2.6.8. GRIETAS

Las grietas pueden formarse en los aros del rodamiento por varias razones. La causa más común es un trato brusco cuando el rodamiento está siendo montado o desmontado.

Los golpes de mazo, aplicados directamente contra el aro o mediante un botado templado, pueden originar la formación de fina grietas de distinto aspecto, tal y como se puede observar en las siguientes imágenes:

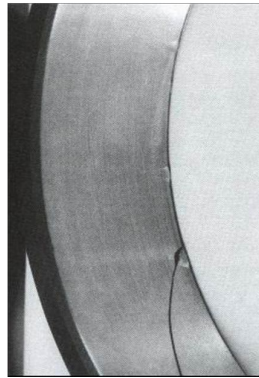


Figura 2. 79.- Fractura del aro exterior de un rodamiento de bolas a rótula. Las muescas visibles en el borde inferior del aro fueron causadas por un mal trato, originando la fisura en una de estas muescas.

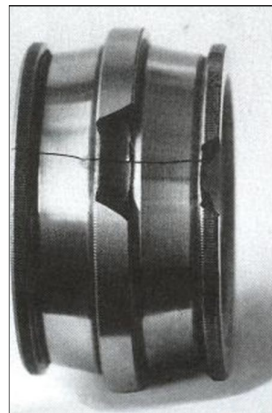


Figura 2. 80.-Fractura del aro interior de un rodamiento de rodillos a rótula. Uno de los rodillos ha sido extraído para permitir que el camino de rodadura en el lado izquierdo fuese examinado. El rodillo fue reinsertado con el martillo causando parte de la rotura de la pestaña central. Los impactos han sido transmitidos al camino opuesto a través de un rodillo, y parte de la pestaña también ha saltado. Al mismo tiempo el aro se ha fracturado transversalmente.



Figura 2. 81.- Aro interior de un rodamiento de rodillos a rótula con la pestaña exterior fracturada por golpes directos de martillo.

Otra causa del agrietamiento del aro es calar excesivamente sobre asiento cónico o manguito. Los esfuerzos de tracción que surgen en los aros, como resultado de un calado excesivo, producen grietas cuando el rodamiento se pone en servicio. Se puede obtener el mismo resultado cuando los rodamientos se calientan y después se montan sobre ejes fabricados con tolerancias no adecuadas.

Las adherencias, descritas en una sección anterior, también pueden producir grietas, perpendiculares a la dirección del deslizamiento. Las grietas de esta naturaleza producen fracturas que cruzan los aros de parte a parte como se puede observar en la siguiente figura:

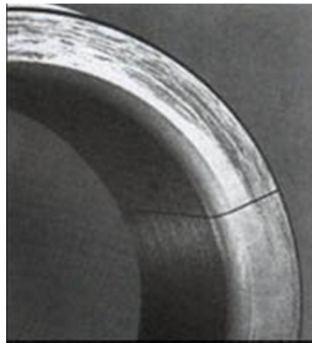


Figura 2. 82.- Aro interior de un rodamiento de rodillos a rótula fracturado transversalmente seguido de adherencias en una cara. El aro ha sido montado junto a un distanciador que no ha tenido un ajuste suficientemente fuerte sobre el eje.

Lo mismo se aplica a la corrosión por contacto, dándose en este caso las grietas de forma transversal en aros interiores y longitudinales en aros exteriores, junto con corrosión de contacto tal y como se puede observar en las siguientes imágenes:



Figura 2. 83.- Aro interior de rodamiento de rodillos a rótula con corrosión de contacto y rotura transversal.



Figura 2. 84.- Rotura longitudinal de un aro exterior de rodamiento rígido de bolas, con corrosión de contacto.

2.6.9. AVERÍA DE LA JAULA.

Si al examinar un rodamiento deteriorado se encuentra la jaula dañada puede, en muchos casos, resultar difícil establecer la causa. Generalmente, si otros componentes del rodamiento están dañados también hace mucho más difícil descubrir la razón de la avería. Sin embargo, hay ciertas causas de avería de la jaula, concretamente vibraciones, velocidad excesiva, desgaste y gripado.

Vibraciones.

Cuando un rodamiento está expuesto a vibraciones, las fuerzas de inercia pueden ser tan grandes que originan fatiga y forman grietas en la jaula después de un cierto tiempo. Antes o después estas grietas producen la rotura de la jaula.

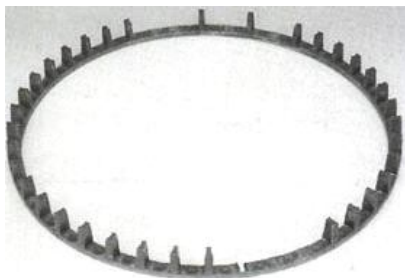


Figura 2. 85.- Jaula deteriorada por fatiga de un rodamiento de rodillos a rótula

2.6.9.1. Velocidad excesiva.

Si el rodamiento gira a velocidad mayor que la admitida por la jaula, esta es sometida a elevadas fuerzas de inercia que pueden producir fracturas. Frecuentemente, para velocidades muy altas es posible seleccionar rodamientos con jaulas de diseño especial.

2.6.9.2. Desgaste.

El desgaste de la jaula puede ser originado por lubricación inadecuada o por partículas abrasivas. El propósito de los rodamientos es, por principio, evitar el rozamiento originado por el deslizamiento. Sin embargo, en lo que concierne a la jaula, el deslizamiento no puede ser eliminado en los contactos con los otros componentes del rodamiento. Esto explica por qué la jaula es el primer componente en ser afectado cuando la lubricación es inadecuada.

La jaula siempre se fabrica de material más blando que los otros componentes y, consecuentemente, se desgasta más rápidamente. Como los alvéolos aumentan de tamaño debido al desgaste, las guías de los elementos rodantes se deterioran. Esto mismo también ocurre en los casos donde la jaula está centrada en los elementos rodantes. Las fuerzas resultantes pueden conducir al fallo de la jaula dentro de un corto espacio de tiempo.



Figura 2. 86.- Jaula deteriorada de un rodamiento de bolas debido a una pobre lubricación.

2.6.9.3. Gripado.

Los fragmentos de material desconchado y otras partículas duras pueden quedar encajados entre la jaula y elementos rodantes, impidiendo la rotación de estos sobre su propio eje. Esto produce el fallo de la jaula.

2.6.9.4. Otras causas de avería de la jaula.

Si los aros de un rodamiento rígido de bolas se ajustan, sin alineación, uno respecto al otro, la huella de las bolas tiene forma ovalada. Si la jaula está centrada sobre las bolas, tiene que cambiar de forma por cada revolución que realiza. En el material se forman grietas por fatiga y, más tarde o más temprano, esto produce la fractura.

Se tiene un caso similar cuando un rodamiento axial de bolas se empareja con una rótula radial. Si el juego se incrementa en esta última, las arandelas del rodamiento llegan a desplazarse entre sí. Entonces las bolas no siguen su huella normal y se pueden alcanzar altas tensiones en las jaulas.

Las jaulas de rodamientos sujetos a fuertes aceleraciones y deceleraciones, asociadas con fluctuaciones de velocidad, son afectadas por fuerzas de inercia. Esto da lugar a considerables presiones entre las superficies en contacto, con el consiguiente fuerte desgaste.

2.7. COMPORTAMIENTO VIBRATORIO DE LOS RODAMIENTOS CON DEFECTOS LOCALIZADOS

Los defectos en los rodamientos pueden clasificarse en defectos localizados y defectos distribuidos.

- Decimos que un defecto es localizado cuando este se encuentra en una posición bien definida en alguno de los componentes del rodamiento, ya sea el anillo interno, anillo externo o en los elementos rodantes. Los defectos localizados abarcan la formación de hoyos ó picaduras, las grietas, etc., siendo las picaduras o 'spalling' los que predominan. El defecto originado por una grieta de fatiga que surge bajo la superficie del elemento y se propaga hacia el exterior hasta que arranca una lámina de metal, formando así una pequeña picadura de aproximadamente 100 μ m. o superior, en su inicio.

- Los defectos distribuidos incluyen rugosidad superficial y ondulaciones en las pistas, pistas desalineadas y elementos rodantes de tamaños ó geometrías defectuosas.

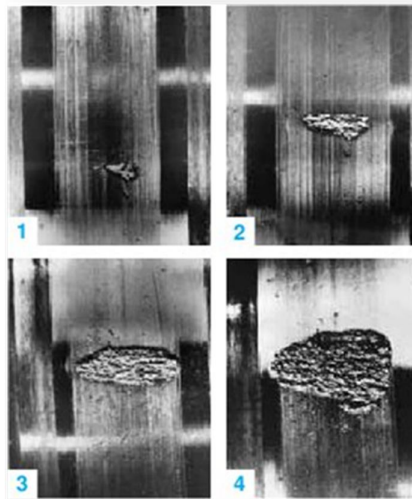


Figura 2. 87.- Tipos de defectos localizados.

Cuando un elemento rodante pasa sobre un defecto local, da origen a una fuerza impulsiva que genera una vibración. Mediante un análisis de la misma, se puede detectar la presencia de dicho defecto.

Cuando el defecto se encuentra en su estado incipiente, estas fuerzas impulsivas, contienen muy poca energía, pues se trata de impulsos de muy corta duración, aunque las amplitudes de la vibración pueden llegar a ser relativamente elevadas. La detección

de un defecto en un rodamiento a partir de la señal de vibración generada por una máquina en funcionamiento presenta cierta complejidad respecto a otros defectos como desequilibrios, desalineamientos, holguras, etc. ya que presentan un menor intercambio de energía.

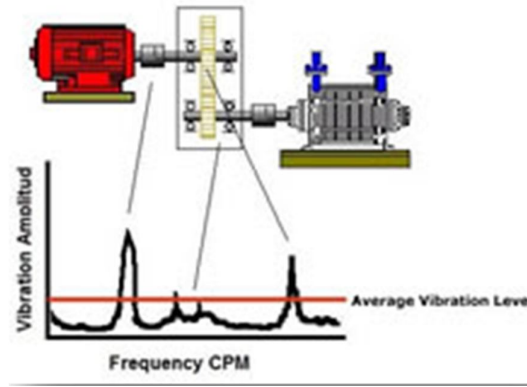


Figura 2. 88.- Esquema explicativo de las frecuencias propias de cada elemento de una cadena cinemática.

Cuando un rodamiento tiene un defecto, en su espectro de frecuencias aparecen grandes amplitudes a unas frecuencias muy bien definidas. En principio, estas frecuencias dependen de unas características propias del rodamiento, como son el número de elementos rodantes y las dimensiones de los elementos del rodamiento y de las condiciones de funcionamiento.

2.7.1. FRECUENCIAS ROTACIONALES

Para poder interpretar con claridad las ecuaciones que permiten calcular la frecuencia que define el defecto localizado en un elemento del rodamiento, es necesario entender la relación de velocidades relativas entre los elementos móviles del mismo.

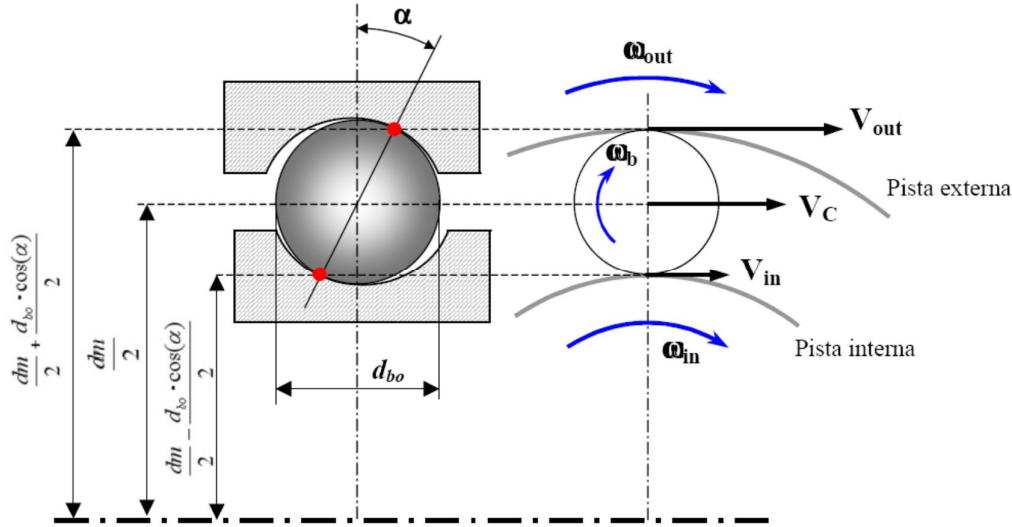


Figura 2. 89.- Parámetros cinemáticos del rodamiento.

La Figura 2.91 muestra la sección frontal y transversal de la geometría de un rodamiento.

V_{out} , V_c y V_{in} representan las velocidades lineales del punto de contacto bola-anillo externo, centro de la bola y punto de contacto bola-anillo interno respectivamente. El ángulo α es el ángulo de contacto y dm es el diámetro medio del rodamiento.

La velocidad lineal del centro de la bola viene dada por la siguiente ecuación:

$$V_c = \frac{V_{out} + V_{in}}{2}$$

La velocidad angular de la bola respecto al centro del rodamiento o velocidad angular de la jaula tiene el valor de:

$$\omega_c = \frac{V_c}{dm/2} = \frac{(V_{out} + V_{in})/2}{dm/2} = \frac{V_{out} + V_{in}}{dm}$$

Si la pista externa gira con una velocidad angular V_{out} , la velocidad lineal del punto de contacto bola-anillo externo, V_{out} es de:

$$V_{out} = \varpi_{out} \cdot \left(\frac{dm}{2} + \frac{d_{b0} \cdot \cos(\alpha)}{2} \right)$$

Si la pista interna gira con una velocidad angular V_{in} , la velocidad lineal del punto de contacto bola-anillo interno, V_{in} es de:

$$V_{in} = \varpi_{in} \cdot \left(\frac{dm}{2} - \frac{d_{b0} \cdot \cos(\alpha)}{2} \right)$$

Sustituyendo estas ecuaciones en la ecuación general de V_C :

$$\varpi_C = \frac{\varpi_{out} \cdot \left(\frac{dm}{2} + \frac{d_{b0} \cdot \cos(\alpha)}{2} \right) + \varpi_{in} \cdot \left(\frac{dm}{2} - \frac{d_{b0} \cdot \cos(\alpha)}{2} \right)}{dm}$$

Operando quedaría el resultado de la FTF (Fundamental Train Frequency):

$$FTF = \varpi_C = \frac{1}{2} \left[\varpi_{out} \cdot \left(1 + \frac{d_{b0} \cdot \cos(\alpha)}{dm} \right) + \varpi_{in} \cdot \left(1 - \frac{d_{b0} \cdot \cos(\alpha)}{dm} \right) \right]$$

Por otro lado, la frecuencia de paso de las bolas por un defecto en el anillo externo, BPFO (Ball Pass Frequency of the Outer race), puede obtenerse como el producto del número de bolas Z por la velocidad angular relativa entre el anillo externo y la jaula:

$$BPFO = Z \cdot (\varpi_C - \varpi_{out})$$

La frecuencia de paso de las bolas por un defecto en el anillo interno, BPFI (Ball Pass Frequency of the inner race), puede obtenerse como el producto del número de bolas Z por la velocidad angular relativa entre el anillo interno y la jaula:

$$BPFI = Z \cdot (\varpi_{in} - \varpi_C)$$

Por último, la velocidad angular de una bola sobre su propio centro o spin, representa la frecuencia de un defecto localizado en el elemento rodante BSF (Ball Spin Frequency). Considerando el punto de contacto de la bola con el anillo interno tenemos:

$$BSF = \frac{(\varpi_{in} - \varpi_C) \cdot \left(\frac{d_m}{2} - \frac{d_{b0} \cdot \cos(\alpha)}{dm} \right)}{\frac{d_{b0}}{2}}$$

Sustituyendo estas ecuaciones por V_C nos darían el siguiente resultado:

$$BPFO = \frac{Z}{2} \cdot (\varpi_{in} - \varpi_{out}) \cdot \left(1 - \frac{d_{b0} \cdot \cos(\alpha)}{dm} \right)$$

$$BPFI = \frac{Z}{2} \cdot (\varpi_{in} - \varpi_{out}) \cdot \left(1 + \frac{d_{b0} \cdot \cos(\alpha)}{dm} \right)$$

$$BSF = \frac{d_m}{2 \cdot d_{b0}} \cdot (\varpi_{in} - \varpi_{out}) \cdot \left[1 - \left(\frac{d_{b0} \cdot \cos(\alpha)}{dm} \right)^2 \right]$$

Estas ecuaciones son de carácter general, donde los dos anillos tanto el interior como el exterior se encuentran en movimiento. Generalmente y en nuestro caso, el anillo exterior es estacionario, siendo $V_{out} = 0$. Además, la velocidad angular del anillo interno suele darse en revoluciones por minuto. Realizando estas simplificaciones, las ecuaciones quedan en la forma:

$$FTF = \frac{\varpi_{in}}{2} \cdot \left(1 - \frac{d_{b0} \cdot \cos(\alpha)}{dm} \right)$$

$$BPFO = \frac{Z \cdot \varpi_{in}}{2} \cdot \left(1 - \frac{d_{b0} \cdot \cos(\alpha)}{dm} \right)$$

$$BPFI = \frac{Z \cdot \varpi_{in}}{2} \cdot \left(1 + \frac{d_{b0} \cdot \cos(\alpha)}{dm} \right)$$

$$BSF = \frac{d_m \cdot \varpi_{in}}{2 \cdot d_{b0}} \cdot \left[1 - \left(\frac{d_{b0} \cdot \cos(\alpha)}{dm} \right)^2 \right]$$

2.7.2. ESPECTRO DE DEFECTOS

En el espectro de potencia de la señal de vibración generada por un rodamiento, pueden distinguirse cuatro zonas características, tal y como muestra la Figura 2.92.

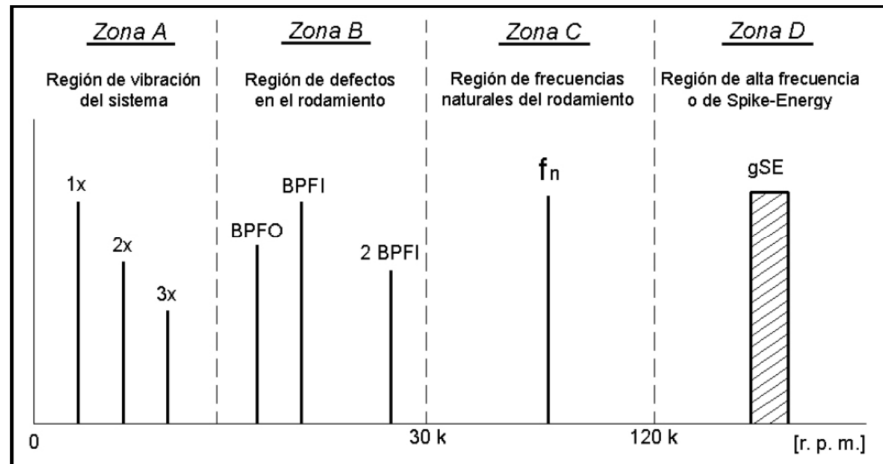


Figura 2. 90.- Espectro de frecuencia característico de la vibración generada por un rodamiento con defectos.

- **Zona A**

Región de la vibración del sistema. Las vibraciones ligadas a anomalías tales como el desequilibrio, el des-alineamiento o la inestabilidad dinámica del rotor se sitúan en un rango de frecuencia comprendido entre 0.25 y 3 veces la velocidad de rotación del eje de la máquina. Algunas de ellas pueden derivar de un deterioro en los rodamientos, ya que el desgaste o la holgura en los rodamientos producen excentricidad en el eje.

- **Zona B**

Región de los defectos en el rodamiento. Esta banda corresponde al rango de frecuencias comprendidas entre la frecuencia de paso de elemento rodante (número de veces que un elemento rodante pasa por un punto de la pista interior o exterior) y siete veces esta frecuencia. Representa la banda que aporta mayor cantidad de información sobre el estado de deterioro de los rodamientos. En ella aparecen reflejadas las frecuencias generadas por los defectos en el rodamiento. El 90 por ciento de los fallos de los rodamientos se deben a grietas en los elementos rodantes, pista de rodadura interna o externa, que generan frecuencias en esta banda. El 10 por ciento restante son producidas por grietas en la caja de los rodamientos y dan lugar a frecuencias en la región de vibración del rotor.



- **Zona C**

Región correspondiente a las frecuencias naturales de los componentes de los rodamientos. Las medidas realizadas en esta región deben ser complementadas con medidas en las otras regiones ya que son más fiables. Esta zona nos proporciona una idea sobre el estado del defecto pero debemos complementarlas con las tomadas en las regiones anteriores para tener información de la naturaleza del defecto.

- **Zona D**

Región de alta frecuencia o de Spike Energy. Esta región cubre el rango de frecuencias más elevado. Esta región nos proporciona una clara idea de la evolución del defecto junto con una pronta identificación del defecto ya que es la primera zona en la que se advierten estos deterioros incipientes. El problema de esta zona es que es una región ultrasónica y requiere de un sensor especialmente diseñado para detectar frecuencias muy altas. Circuitos de filtros especiales dejan pasar sólo esta región de frecuencia.

2.7.3. EVOLUCION ESPECTRAL DEL DESARROLLO DE LOS DEFECTOS

- Estado I

En este estado, el rodamiento todavía dispone de vida remanente considerable (en torno al 10 o 20 por ciento). Los defectos consisten en picaduras, las mayorías microscópicas, difíciles de identificar al tacto o visualmente, sólo identificables al microscopio. Además, no se generará ruido perceptible por el oído humano ni la temperatura se elevará significativamente.

Para este estado, el único indicador del defecto es el marcado incremento de los valores globales del Spike-Energy (SE) o pico de energía (aparecen algunos picos en la región de alta frecuencia), ya que el espectro es normal (como el de un rodamiento nuevo) y no se refleja el defecto en él (Figura 2.93).

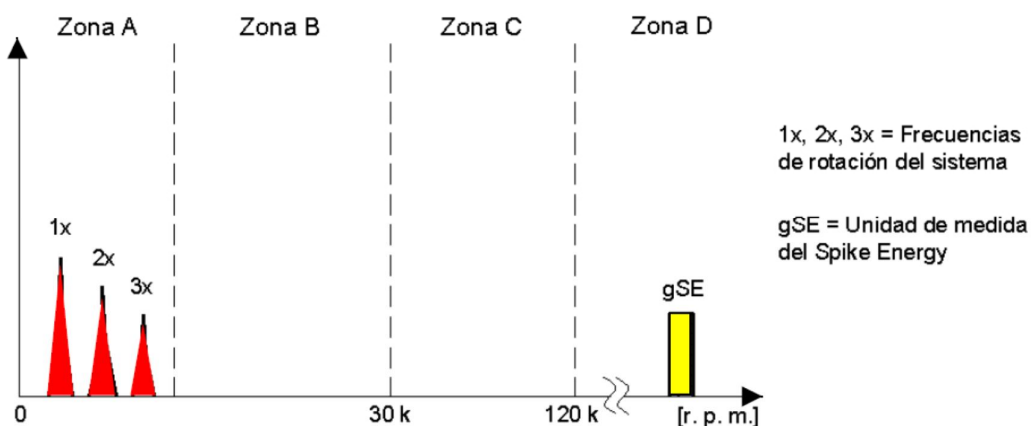


Figura 2. 91.- Espectro representativo del estado I de la evolución del defecto en el rodamiento.

Normalmente, el Spike-Energy (S.E.) incrementa su valor desde un nivel de 0,02-0,04 gSE que presenta en rodamientos nuevos hasta un nivel de 0,15-0,25 gSE. Estos valores del S.E. son de referencia, pues el valor del S.E. varía mucho con el tipo de máquina, el punto de medición, la velocidad de rotación de la máquina, la lubricación, la rigidez y tamaño del soporte y, sobre todo, si el rodamiento está próximo a engranajes.

• Estado II

Cuando llega a este estado, el rodamiento dispone del 5-10 por ciento de vida remanente. Los defectos consisten en picaduras no visibles sin la ayuda de una lente de aumento o microscopio. Se observa un ligero incremento del ruido pero la elevación de la temperatura es prácticamente inapreciable. La aparición de estos pequeños defectos en el rodamiento repercute en el espectro, comenzando a excitarse las frecuencias de resonancia de los componentes del rodamiento y de su soporte que se concentrarán, aproximadamente, en el rango de frecuencias de 500-2000 Hz (Figura 2.94).

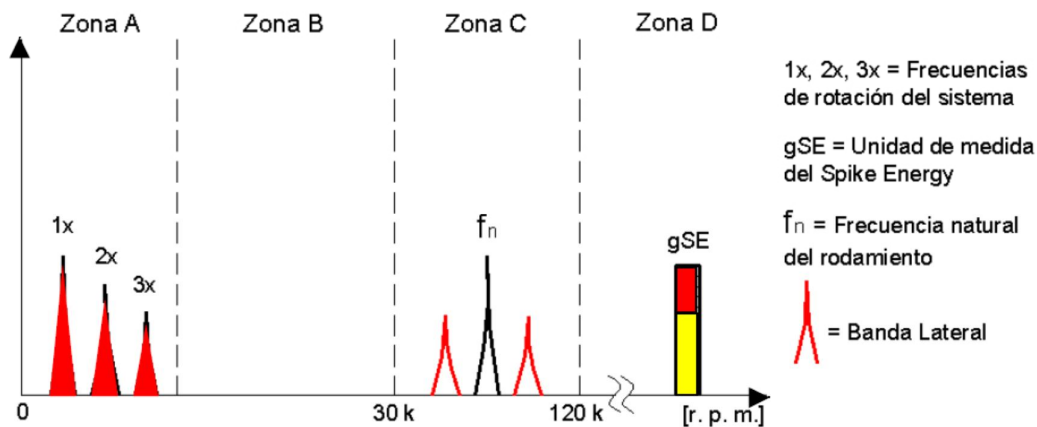


Figura 2. 92.- Espectro representativo del estado II de la evolución del defecto en el rodamiento.

Las frecuencias naturales de la mayor parte de los rodamientos montados en su soporte suelen estar entre los 850 y 1700 Hz, y su ubicación frecuencial no varía con la velocidad, aunque sí la amplitud, puesto que a mayor velocidad de rotación la energía intercambiada en los impactos es más elevada. La respuesta en la zona de Spike-Energy también se ve afectada con un aumento de valor y, en algunos casos, se incrementa hasta duplicarse. Al inicio del estado 2, normalmente, sólo aparecerán en el espectro una o más frecuencias discretas en la zona antes delimitada para las frecuencias de resonancia. Sin embargo, hacia el final del estado 2, dichas frecuencias conservarán la misma amplitud pero estarán moduladas a la velocidad de giro del rodamiento, tanto más cuanto el defecto vaya progresando en su deterioro, lo que se hace patente en el espectro por la aparición de bandas laterales alrededor de la frecuencia de resonancia, con un desplazamiento arriba y abajo de la frecuencia de resonancia de $1 \times \text{r.p.m.}$, o, más raramente, dicho desplazamiento toma el valor de la frecuencia de defecto en pista interior (BPFI) o exterior (BPFO).

• Estado III

En este estado, el rodamiento dispone del 2-5 por ciento de vida remanente. Los defectos consisten en picaduras claramente visibles y relativamente profundas. El ruido es evidente y la temperatura se incrementa ligeramente. La respuesta del Spike- Energy continuará incrementándose, duplicándose e incluso triplicándose en amplitud, llegando incluso a valores de 30-50 veces más altos que los se obtenían cuando el rodamiento se colocó nuevo y después de haber realizado el periodo de rodaje de la maquina (Figura 2.95). Por primera vez aparecen frecuencias fundamentales asociadas con los defectos (BPFI, BPFO, BSF y FTF) y, a medida que avanza en el estado 3, van apareciendo armónicos de dichas frecuencias según progresa el desgaste ligeramente alrededor de la periferia de la pista y/o aparecen defectos en más de un elemento rodante.

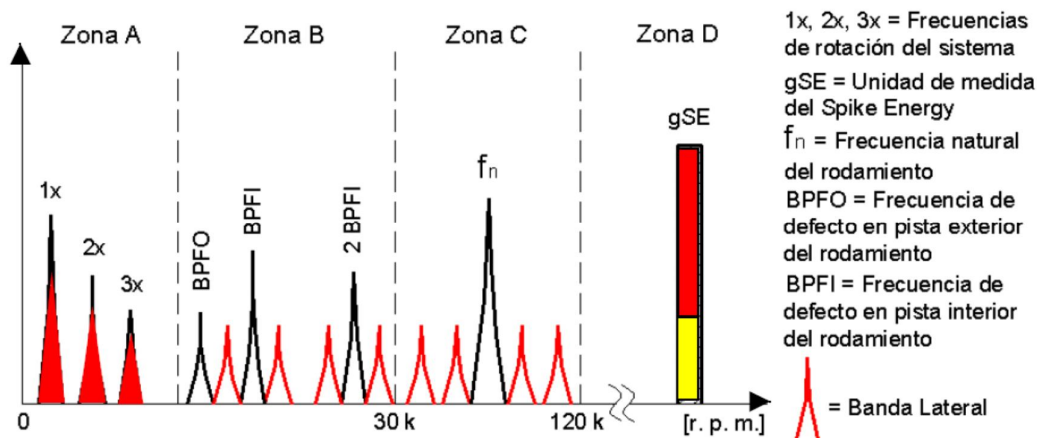


Figura 2. 93.-Espectro representativo del estado III de la evolución del defecto en el rodamiento.

Normalmente, al principio, las frecuencias de defecto no serán moduladas por la velocidad de rotación, pero según progresa el desgaste, comienzan a aparecer bandas laterales alrededor de las frecuencias de defecto y sus armónicos. Hacia el final del estado 3, aparecerán bandas laterales incluso alrededor de las frecuencias de resonancia. En el final del estado 3, se encuentra el rodamiento en la parte exponencial de su curva de desgaste, por lo que la velocidad de desgaste es impredecible y su duración estará condicionada por las condiciones de funcionamiento tales como la lubricación, las cargas, temperatura, etc.

Mejorar la lubricación en este extremo disminuye momentáneamente el nivel global de vibración (reducción del ruido), pero volverá a niveles normales a las 12-24 horas. La adición de un exceso de lubricante es contraproducente y podría acelerar el fallo. Llegados a este punto, debería reemplazarse el rodamiento.

• Estado IV

El rodamiento se acerca a la situación de fallo catastrófico o colapso, dispone de una vida remanente de un 1 por ciento. Se puede apreciar en el rodamiento un pronunciado desgaste por toda la periferia de la pista de rodadura. El ruido se incrementa notablemente y hay un significativo aumento de temperatura. En el estado 4, aparecen gran cantidad de bandas laterales a una distancia de 1x r.p.m. alrededor de las frecuencias de defecto. La amplitud de la componente a 1x r.p.m., normalmente, comienza a incrementarse por primera vez a lo largo de todo el proceso descrito, así como sus armónicos 2º y 3º.

El nivel de Spike-Energy no se eleva sino que decrece, y las amplitudes de los armónicos más altos de las frecuencias de defecto y de las de resonancia también decrecerán, tendiendo a "desaparecer 2 son sustituidos por otros armónicos aleatorios (Figura 2.96).

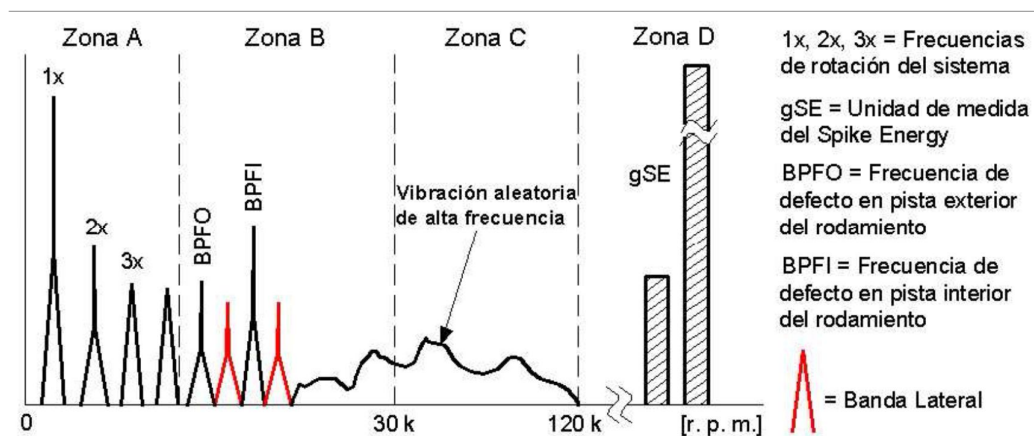


Figura 2. 94.- Espectro representativo del estado IV de la evolución del defecto en el rodamiento.

Al final del estado 4, el nivel de Spike-Energy se reduce todavía más y justo antes del colapso crecerá drásticamente hasta valores muy elevados (50-100 gSE). A medida que este estado avanza, comienzan a desaparecer del espectro las frecuencias de defecto y las frecuencias de resonancia, apareciendo muchas componentes a frecuencias aleatorias que se extienden por el espectro y camuflan los picos de las frecuencias discretas. Llegados a este punto, al rodamiento pueden quedarle una hora o una semana de vida, ello depende de diferentes factores operativos.

2.8. CINEMATICA DE LOS RODAMIENTOS

2.8.1. INTRODUCCION

Los rodamientos presentan relaciones cinemáticas complicadas, el “Spinning” y efectos giroscópicos en los rodamientos de bolas, la desalineación e inclinación en los rodamientos de rodillos. Además en los rodamientos de bolas de contacto angular, el ángulo de contacto que forma la bola con la pista interior varía respecto al ángulo que forma con la pista exterior.

Hipótesis de trabajo:

- Los elementos rodantes son rígidos, se omite la deformación de contacto (se excluye la influencia de la carga).
- No se considera la holgura radial.
- Se ignora el efecto “película” de la lubricación.
- Los elementos rodantes presentan rodadura pura, sin deslizamientos.
- Se considera que el movimiento se desarrolla en el plano radial.

Un rodamiento diseñado para soportar carga radial está compuesto por un anillo interno solidario al árbol o eje, un anillo externo unido al soporte del rodamiento y un conjunto de elementos rodantes entre ambos anillos. Con la finalidad de mantener los rodantes separados para evitar que entren en contacto entre si se instalan jaulas, que rotan junto con los elementos rodantes alrededor del eje del rodamiento.

Para el estudio cinemático, se considerara que todos los elementos móviles del rodamiento presentan movimiento plano (solo cargas radiales). Al girar el rotor unido al anillo interno, causa el giro de los elementos rodantes en un movimiento complejo, aunque para el estudio cinemática puede aproximarse su movimiento al compuesto por una traslación alrededor del eje y otro girando sobre si mismas (a semejanza de los planetas), rodando sobre la pista del rodamiento. La velocidad de rotación del elemento rodante sobre si mismo y la de rotación de estos respecto al eje del rodamiento.

El modelo de rodamiento que se va a implementar considera que el anillo externo se encuentra fijo y el anillo interior gira con una velocidad angular ω_{in} . Debido a que estamos hablando de un caso de movimiento plano, se considera que no existe ángulo de contacto α . La velocidad del punto 'P' vale:

$$V_{P2} = \omega_{in} \cdot r_{in}$$

Considerando que existe rodadura pura entre los elementos 2 y 3, se tiene que:

$$V_{P2} = V_{P3}$$

Por existir rodadura entre los elementos 1 y 3, la velocidad del punto 'Q' es igual a cero. Q es el centro instantáneo de rotación del elemento 3 sobre el elemento 1.

La velocidad del punto O3 es la velocidad media de los puntos 'P' y 'Q':

$$V_{O3} = V_m = \frac{V_{P3} + V_{Q3}}{2} = \frac{V_{P3}}{2}$$

Al estar unido el movimiento de la jaula al del centro de las bolas, la velocidad tangencial de ambos es V_{O3} . Esta equivale a una velocidad angular $\omega_{03/02}$ alrededor del eje del rodamiento O2:

$$\omega_{03/02} = \frac{V_{O3}}{r_{in} + r_{bo}} = \frac{V_{P3/2}}{r_{in} + r_{bo}} = \frac{\omega_{in} \cdot r_{in}}{2 \cdot (r_{in} + r_{bo})}$$

$$\omega_{03/02} = \omega_{jaula} = \frac{\omega_{in} \cdot r_{in}}{2 \cdot (r_{in} + r_{bo})}$$

Para calcular la velocidad angular de los elementos rodantes sobre su propio eje $\omega_{03/03}$, comenzamos planteando la ecuación de velocidades relativas:

$$\overrightarrow{V_{P3}} = \overrightarrow{V_{O3}} + \overrightarrow{V_{P3/O3}}$$

Teniendo en cuenta que:

$$V_{P2} = V_{P3} = \omega_{in} \cdot r_{in}$$

$$V_{O3} = \frac{V_{P3}}{2} = \frac{\omega_{in} \cdot r_{in}}{2}$$

$$V_{P3/O3} = \omega_{3/03} \cdot r_{bo}$$

Resulta:

$$\omega_{in} \cdot r_{in} = \frac{\omega_{in} \cdot r_{in}}{2} + \omega_{3/03} \cdot r_{bo}$$

Despejando:

$$\omega_{3/02} = \omega_{bola} + \frac{\omega_{in} \cdot r_{in}}{2 \cdot r_{bo}}$$

2.8.2. REPARTO DE CARGAS

El reparto o *distribución de cargas* sobre los elementos, variará en función de la combinación de cargas aplicada. El reparto o distribución de cargas sobre los elementos, variará en función de la combinación de cargas aplicada.

- **Distribución de cargas**

Si realizamos un *equilibrio de fuerzas* en el modelo de rodamiento, tenemos:

$$F_r = Q_0 + 2 \cdot \sum (Q_{\psi_x} \cdot \cos \psi_x)$$

El desplazamiento elástico siguiendo la línea de ángulo es:

$$\delta_{\psi_x} = \delta_0 \cdot \cos \psi_x$$

La carga sobre cada elemento rodante en función del semiángulo de la zona de carga y el factor de distribución de la misma, queda:

$$Q_{\psi_x} = Q_0 \cdot \left[1 - \frac{1}{2 \cdot \varepsilon} \cdot (1 - \cos \psi_x) \right]^{\frac{1}{T}}$$

$\psi_L \rightarrow$ Semiángulo que abarca la zona de carga

$\varepsilon \rightarrow$ Factor de distribución de carga

$T \rightarrow$ Factor dependiente del tipo de elemento rodante
($1/T$ toma el valor $3/2$ cuando es una bola y de $11/10$ cuando es un cilindro).

$$\varepsilon = 0,5 \quad (\psi_L = 90^\circ) \quad Q_{\psi_x} = Q_0 \cdot \sqrt[3]{\cos \psi_x}$$

La transmisión de la carga de un anillo a otro se realiza a través de los elementos rodantes. El número de ciclos de presión de un punto de la pista de rodadura sobre el que actúa un elemento rodante cargado tiene una influencia muy importante en el funcionamiento y la vida de un rodamiento. Además de la carga externa que soporta el rodamiento, las fuerzas centrífugas y los momentos giroscópicos de los elementos rodantes contribuyen en un aumento de la distribución de carga sobre los elementos rodantes.

El estudio dinámico se realiza bajo la hipótesis de que el rodamiento solamente soporta carga radial. De hecho, estos modelos están ideados para soportar cargas radiales y no axiales.

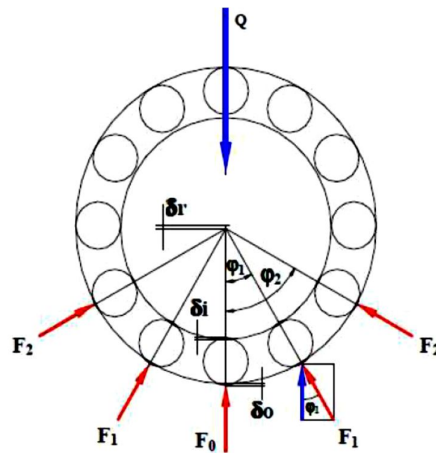


Figura 2. 95.- Parámetros geométricos y cinemáticos de los rodamientos.

La relación genérica carga- desplazamiento relativo en un rodamiento puede ser expresada mediante la ecuación.

$$\delta_n = K_n \cdot Q^T$$

Dónde:

Q, es la carga total aplicada al rodamiento.

T, es un coeficiente dado que vale 2/3 para punto de contacto (bolas) y 0,9 para línea de contacto (cilindro).

K_n , es un coeficiente que depende del tipo de rodamiento

La deformación total en la dirección del elemento más cargado, viene dada por:

$$\delta_r = \delta_i + \delta_o$$

Dónde:

$\delta_{i\pm}$, es la deformación entre el elemento rodante y la pista interna

$\delta_{o\pm}$ es la deformación entre el elemento rodante y la pista externa

Supongamos un rodamiento sin holgura sometido a una carga radial Q de tal forma que un elemento rodante queda bajo la dirección de la línea de carga. La condición de equilibrio estático viene dada por la ecuación:

$$Q = F_0 + 2 \cdot \sum (F_i \cdot \cos \varphi_i)$$

La desviación elástica en la línea de ángulo ψ será:

$$\delta_{\varphi} = \delta_r \cdot \cos(\varphi)$$

La relación entre la carga en un elemento rodante y la correspondiente desviación se puede expresar como:

La relación carga-deformación de dos elementos rodantes podemos ya que el cociente Knes constante:

$$K_n = \frac{F_0^T}{\delta_r} = \frac{F_{\varphi}^T}{\delta_{\varphi}}$$

Quedando que:

$$\frac{F_{\psi}}{F_0} = \sqrt[T]{\frac{\delta_{\psi}}{\delta_r}}$$

Teniendo en cuenta la ecuación:

$$F_{\psi} = F_0 \cdot \sqrt[T]{\cos \varphi}$$

Sustituyendo el valor de F_{ψ} en la ecuación:

$$Q = F_0 + 2 \cdot \sum (F_0 \cdot \sqrt[T]{\cos \varphi} \cdot \cos \varphi)$$

Operando podemos obtener la expresión que permite calcular el valor de la fuerza que soporta el elemento más cargado F_0 :

$$Q = F_0 \left[1 + 2 \sum (\cos \varphi)^{\frac{T+1}{T}} \right]$$

$$F_0 = \frac{Q}{1 + 2 \sum (\cos \varphi)^{\frac{T+1}{T}}}$$

Definiendo el parámetro J_r como:

$$J_r = \frac{1 + 2 \sum (\cos \varphi)^{\frac{T+1}{T}}}{Z}$$

Podemos expresar la ecuación como:

$$F_0 = \frac{Q}{Z \cdot J_r}$$

El valor de $1/J_r$ se calcula para los diferentes números Z de elementos rodantes y para los distintos tipos de elementos rodantes, los valores obtenidos se registran en tablas como la siguiente.

Valores de $1/J_r$ para varios números y tipos de elementos rodantes							
Tipo de elemento rodante	Número de elementos rodantes						
	6	7	8	10	12	15	20
Bolas	4,43	4,34	4,35	4,38	4,36	4,37	4,36
Cilindros	4,10	4,03	4,07	4,10	4,08	4,07	4,08

Figura 2. 96 Valores de la $1/J_r$ para varios números y tipos de elementos rodantes

Por ejemplo, para un rodamiento de 12 bolas $1/J_r$ es igual a 4'36, luego la carga máxima en un elemento rodante sería:

$$Q_0 = \frac{F_r \cdot 1/J_r}{Z} = \frac{F_r \cdot 4'36}{12}$$

Si el rodamiento presenta cierta holgura radial, h_r , la carga se distribuye sobre los elementos rodantes según un factor de distribución de carga, ε , siendo:

$$\varepsilon = \frac{1}{2} \cdot \left(1 - \frac{h_r}{2 \cdot \delta_r + h_r} \right)$$

La deformación sobre la dirección de ángulo φ sería:

$$\delta_\varphi = \left(\delta_r + \frac{h_r}{2} \right) \cdot \cos \varphi - \frac{h_r}{2} = \delta_r \cdot \left[1 - \frac{1}{2 \cdot \varepsilon} \cdot (1 - \cos \varphi) \right]$$

Si en la ecuación ponemos $\delta\varphi_{\pm} = 0$, se puede hallar la extensión angular de la zona de carga en el rodamiento, φ_L . Esto puede expresarse como:

$$\varphi_L = \arccos \left(\frac{h_r}{2 \cdot \delta_r + h_r} \right)$$

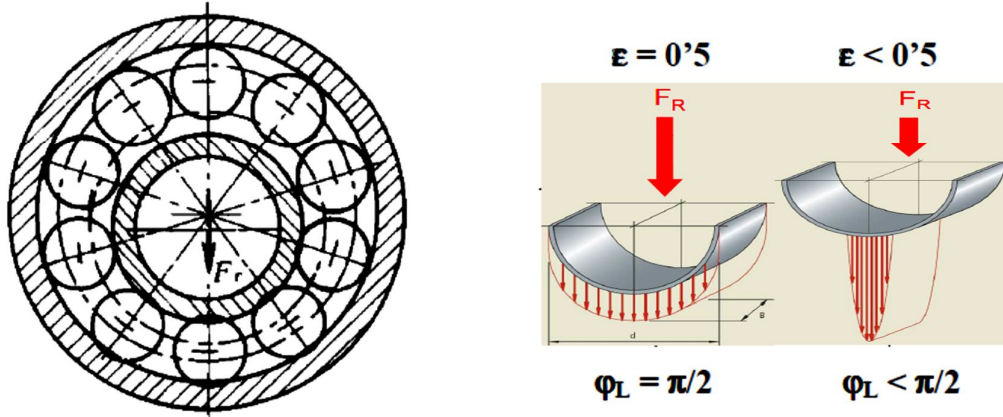


Figura 2. 97 Distribución de carga.

De la ecuación se deduce que:

Si no hay holgura ($h_r = 0$) entonces el factor de distribución de carga es $\varepsilon = 0.5$ y la extensión angular $\varphi_L = \pi/2$.

- Si $h_r > 0$ (holgura), entonces $\varepsilon < 0.5$ y $\varphi_L < \pi/2$.
- Si $h_r < 0$ (montaje con apriete), entonces $\varepsilon > 0.5$ y $\varphi_L > \pi/2$.
- Si $\varphi_L = 360^\circ/Z$ sólo estará cargado un elemento rodante.

Sustituyendo en las ecuaciones anteriores se deduce la expresión de la carga en el elemento rodante con ángulo φ como:

$$F_\varphi = F_0 \cdot \left[1 - \frac{1}{2 \cdot \varepsilon} \cdot (1 - \cos \varphi) \right]^{\frac{1}{T}}$$

Utilizando la ecuación de equilibrio da la siguiente expresión:

$$Q = Z \cdot F_0 \cdot \frac{\sum \left[1 - \frac{1}{2 \cdot \varepsilon} \cdot (1 - \cos \varphi) \right]^{\frac{1}{T}} \cdot \cos \varphi}{Z} = Z \cdot F_0 \cdot J_r(\varepsilon)$$

El factor $J_r(\varepsilon)$ expresado en forma integral quedaría:

$$J_r(\varepsilon) = \frac{1}{2 \cdot \pi} \int_{-\varphi_L}^{\varphi_L} \left[1 - \frac{1}{2 \cdot \varepsilon} \cdot (1 - \cos \varphi) \right]^{\frac{1}{T}} \cdot \cos \varphi \cdot d\varphi$$

Los valores que toma $1/T$ son de 1'5 cuando el elemento rodante es una bola y de 1'1 cuando es un cilindro.

Dados los parámetros geométricos internos, la holgura radial y la carga radial de un rodamiento, entonces se podrá determinar el valor de la carga de contacto en los elementos rodantes.

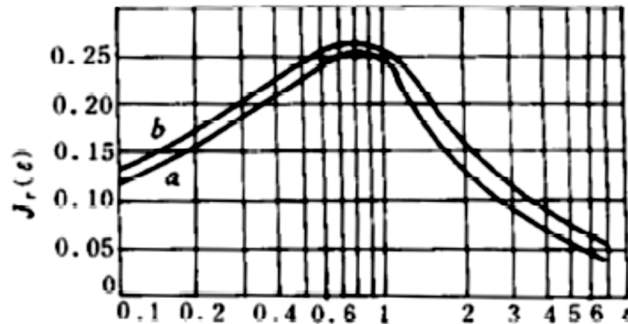


Figura 2. 98 Grafica logarítmica de parámetro J_r .

Sabiendo que el valor de la integral de $J_r(\epsilon)$ está relacionado con $\delta_{\pm r}$ y este es necesario para calcular $J_r(\epsilon)$, es necesario recurrir a un proceso iterativo para obtener la carga de los elementos rodantes.

Los valores de $J_r(\epsilon)$ suelen estar tabulados, pero también pueden representarse en gráficas. En la citada gráfica se representa la evolución del factor $J_r(\epsilon)$ en función del valor de ϵ (la curva a para rodamientos de bolas y la curva b para rodamientos de cilindros).

2.8.3. PARÁMETROS

2.8.3.1. Rigidez: carga – desplazamiento

Las velocidades de rotación admisibles de cada tipo de rodamiento, vienen limitadas por parámetros como la rigidez. A igual carga e igual diámetro de los elementos rodantes, los rodamientos de rodillos presentan más superficie de contacto y se deforman menos que los de bolas, luego: PUEDEN SOPORTAR MÁS CARGA.

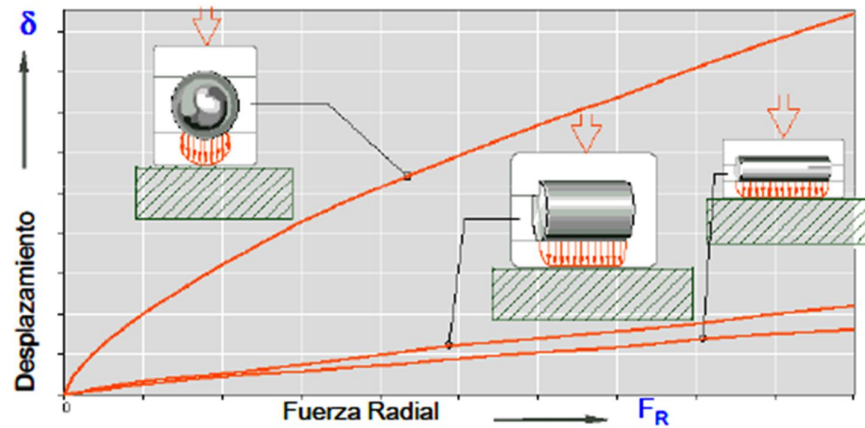


Figura 2. 99.- El diagrama muestra el desplazamiento (deformación) en función de la carga aplicada.

El desplazamiento o deformación elástica viene dado por las expresiones siguientes:

$$\delta_n = K_n \cdot Q^T$$

- δ_n → Desplazamiento elástico total entre dos anillos.
 Q → Carga total aplicada al rodamiento.
 T → Coeficiente (2/3 para bolas y 0,9 para rodillos).
 K_n → Coeficiente sujeto al tipo de elemento rodante.

- El desplazamiento elástico total entre los dos anillos es igual a la suma de:

$$\delta_n = \delta_i + \delta_e$$

- El desplazamiento elástico entre el elemento rodante y la pista del anillo interior.
- El desplazamiento elástico entre el elemento rodante y la pista del anillo exterior.

2.8.3.2. Área de contacto

El área de contacto condiciona las cualidades del rodamiento, influyendo, por ejemplo, en su deformación, calentamiento o eficiencia.

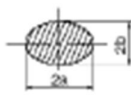
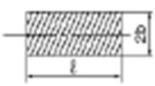
	Rodamientos de bolas	Rodamientos de rodillos
La Pista	 <p>Contacto de punto La superficie de contacto es ovalada cuando la carga es aplicada.</p>	 <p>Contacto de línea La superficie de contacto es rectangular cuando la carga es aplicada.</p>
Características	Debido al contacto de puntos hay baja resistencia, los rodamientos de bolas son adecuados para aplicaciones de bajo torque y alta velocidad, tienen mejores características acústicas.	Debido al contacto de línea, el torque es mayor que en los rodamientos de bolas, pero la rigidez también es mayor.
Capacidad de carga	La capacidad de carga es baja, pero pueden soportar cargas en ambas direcciones, radial y axial.	La capacidad de carga es más alta. Los rodamientos de rodillos cilíndricos equipados con pestañas, pueden soportar una pequeña carga axial. Al combinar rodamientos de rodillos cónicos en pares, los mismos son capaces de soportar carga axial en ambas direcciones.

Figura 2. 100.- Tabla área de contacto.

2.8.3.3. Fuerzas aplicadas sobre elementos rodantes

Las fuerzas aplicadas sobre cada uno de los elementos rodantes del rodamiento, vienen determinadas instantáneamente, en función del ángulo α . La resultante total será el sumatorio de cada una de las fuerzas de cada elemento.

$$F_3 = f_{32}^0 + 2 \cdot f_{32}^1 \cdot \cos(\alpha) + 2 \cdot f_{32}^2 \cdot \cos(2\alpha) + 2 \cdot f_{32}^3 \cdot \cos(3\alpha) + \dots$$

$$F_3 = f_{32}^0 + 2 \cdot f_{32}^0 \cdot \cos^2(\alpha) + 2 \cdot f_{32}^0 \cdot \cos^2(2\alpha) + 2 \cdot f_{32}^0 \cdot \cos^2(3\alpha) + \dots$$

Las fuerzas aplicadas sobre cada uno de los elementos rodantes del rodamiento, vienen determinadas instantáneamente, en función del ángulo α . La resultante total será el sumatorio de cada una de las fuerzas de cada elemento.

$$F_3 = f_{32}^0 \cdot K_Q \quad \left(K_Q = \frac{1}{J_R} \approx \frac{Z}{4} \right)$$

Por motivos de seguridad, se toma como valor de $K_Q=Z/5$, resultando que la carga que soporta el elemento rodante más cargado es:

$$f_{32}^0 = \frac{5 \cdot F_3}{Z}$$

2.8.3.4. Distribución de carga radial en un rodamiento (sin holgura)

- La carga radial total F_r se distribuye en varios elementos rodantes (parte inferior).
- No hay holguras.
- La línea de carga pasa por el centro de los anillos.
- Las referencias son el centro del anillo exterior y la línea de carga.
- Se analiza la posición donde un elemento rodante está en la línea de carga (posición de máxima carga sobre un elemento rodante).

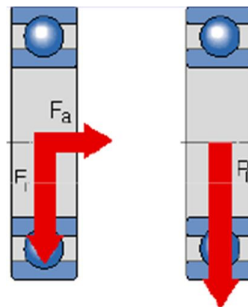
2.8.3.5. Carga estática equivalente (P_0)

- Será una carga estática hipotética resultado de la combinación de la carga axial y radial que actúan sobre el rodamiento.
- Esta carga estática hipotética será radial pura (en rodamientos radiales) o axial centrada (en rodamientos axiales).
- En rodamientos de contacto angular de bolas o de rodillos cónicos se escoge el valor mayor de las siguientes 2 expresiones:

$$\begin{cases} P_0 = V \cdot F_r \\ P_0 = X_0 \cdot V \cdot F_r + Y_0 \cdot F_a \end{cases}$$

- En rodamientos de empuje se escoge el valor de la expresión:

$$P_0 = 2,3 \cdot \tan(\alpha) \cdot F_r + F_a$$



$$X_0 F_r + Y_0 F_a = P_0$$

P_0 → Carga estática equivalente.

F_a → Carga axial.

F_r → Carga radial.

α → Angulo de contacto del rodamiento.

V → Factor de rotación.

X_0 → Factor estático radial.

Y_0 → Factor estático axial.

Figura 2. 101 Componentes y parámetros dinámicos.

2.8.3.6. Capacidad estática de carga (C_0)

- Expresa la carga necesaria para causar una deformación, en el elemento rodante y en la pista de rodadura, de una diezmilésima (0,0001) del diámetro del elemento rodante en el punto de presión máxima.
- No es la carga de rotura ($C_{rotura} > 8C_0$) pero a partir de esta carga pueden quedar deformaciones permanentes.

- Es un estimador de la máxima carga estática admitida por el rodamiento y es el parámetro de referencia para seleccionar el rodamiento cuando se usa a velocidades muy bajas, oscilante, choques, ...
- En estos casos se busca un rodamiento que soporte cargas estáticas equivalentes que cumplan:

$$P_0 = \frac{C_0}{s_0}$$

$$s_0 = \frac{C_0}{P_0}$$

$s_0 \rightarrow$ Factor de seguridad estático.

$s_0 \rightarrow$ Depende de las condiciones de funcionamiento y del tipo de rodamiento. Su valor oscila entre 0,5 y 5, incluso superior.

RODAMIENTOS	RADIALES y CONTACTO ANGULAR	DE EMPUJE O AXIALES
BOLAS	$C_0 = i \cdot Z \cdot f_0 \cdot D_b^2 \cdot \cos \alpha$	$C_0 = i \cdot Z \cdot f_0 \cdot D_b \cdot \sin \alpha$
RODILLOS	$C_0 = i \cdot Z \cdot f_0 \cdot D_b^2 \cdot l_e \cdot \cos \alpha$	$C_0 = i \cdot Z \cdot f_0 \cdot D_b^2 \cdot \sin \alpha$

$C_0 \rightarrow$ Capacidad estática de carga.

$i \rightarrow$ Número de filas de elementos rodantes.

$Z \rightarrow$ Número de elementos rodantes.

$D_b \rightarrow$ Diámetro del rodillo o de la bola.

$D_b \rightarrow$ Longitud del rodillo.

$\alpha \rightarrow$ Angulo de contacto del rodamiento.

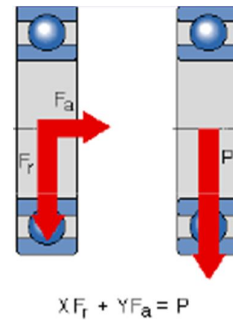
$f_0 \rightarrow$ Coeficiente relativo al tipo de rodamiento (valores tabulados).

2.8.3.7. Carga dinámica equivalente (P)

- Será una carga dinámica hipotética resultado de la combinación de la carga axial y radial constante que actúan sobre el rodamiento.
- Esta carga dinámica hipotética será radial pura (en rodamientos radiales) o axial centrada (en rodamientos axiales).

- En rodamientos radiales o de contacto angular se escoge una de las siguientes dos expresiones (para rodamientos de empuje también sirven, con ligeras variaciones):

$$\begin{cases} P = V \cdot F_r & \frac{F_a}{F_r} \leq \zeta \cdot \tan \alpha \equiv e \\ P = X \cdot V \cdot F_r + Y \cdot F_a & \frac{F_a}{F_r} > \zeta \cdot \tan \alpha \equiv e \end{cases}$$



- | | |
|---|--|
| P → Carga dinámica equivalente. | V → Factor de rotación. |
| F_a → Carga axial. | X → Factor dinámico radial. |
| F_r → Carga radial. | Y → Factor dinámico axial. |
| α → Angulo de contacto del rodamiento. | ζ → Coeficiente del tipo de rodamiento |

- Será una carga dinámica hipotética resultado de la combinación de la carga axial y radial constante que actúan sobre el rodamiento.

$\zeta = 1,1$ → Rodamientos radiales de bolas.

$\zeta = 1,5$ → Rodamientos radiales de rodillos.

$\zeta = 1,25$ → Rodamientos de contacto angular de bolas.

- Será una carga dinámica hipotética resultado de la combinación de la carga variable axial y radial y velocidad variable que actúan sobre el rodamiento.

$$P = \sqrt[p]{\frac{\sum \left(\frac{1}{a_i} \cdot q_i \cdot n_i \cdot P_i^p \right)}{\sum (q_i \cdot n_i)}} n_m = \frac{\sum (q_i \cdot n_i)}{100}$$

$P_i \rightarrow$ Carga dinámica equivalente parcial de cada intervalo de funcionamiento.

$q_i \rightarrow$ Porcentaje (en %) de duración parcial de cada intervalo de funcionamiento.

$n_i \rightarrow$ Velocidad de rotación parcial de cada intervalo de funcionamiento.

$P \rightarrow$ Carga dinámica equivalente.

$n_m \rightarrow$ Velocidad media de giro.

$a_i \rightarrow$ Coeficiente de duración de vida para cada intervalo de funcionamiento.

$p \rightarrow$ Exponente del coeficiente de duración de vida ($p=3$ para bola y $p=10/3$ para rodillo).

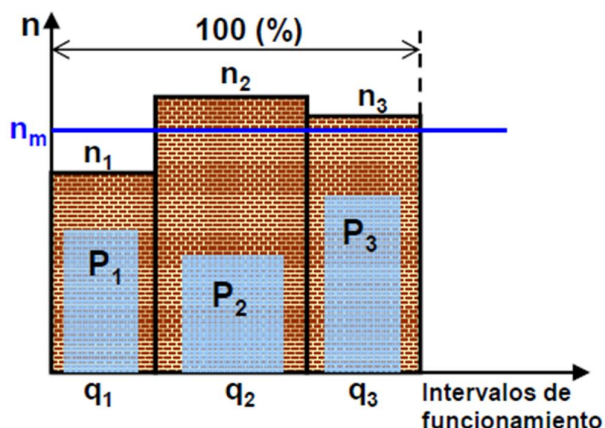


Figura 2. 102 Duración de vida en función de carga dinámica equivalente y otros parámetros.

2.8.3.8. Capacidad dinámica de carga (C)

- Carga máxima que puede soportar un rodamiento en movimiento, sin que aparezcan signos de fatiga en ninguno de sus elementos (aros o elementos rodantes), durante un millón de revoluciones del mismo.
- (Experimental) A partir de la capacidad dinámica de carga y de la carga dinámica equivalente de un rodamiento puede hacerse una estimación de la duración o **vida nominal** del rodamiento:

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P} \right)^p \cdot 10^6 \text{ revoluciones}$$

$C \rightarrow$ Capacidad dinámica de carga.

$P \rightarrow$ Carga dinámica equivalente

$p \rightarrow$ Coeficiente de duración de vida ($p=3$ para rodamientos de bolas y $p=10/3$ para rodamientos de rodillos).

2.8.3.9. Otros parámetros

$\frac{C}{P}$ A la relación entre la capacidad dinámica de carga y la carga dinámica equivalente se le denomina **Seguridad de Carga**.

$$\frac{C}{P} = \frac{f_L}{f_n \cdot f_H}$$

$f_L \rightarrow$ Factor de esfuerzos dinámicos.
 $f_n \rightarrow$ Factor de seguridad de velocidad.
 $f_H \rightarrow$ Factor de dureza.



Carga límite de fatiga Si $P < P_u$ no se producirá fatiga en el rodamiento.

Carga mínima La menor carga necesaria para que el rodamiento funcione correctamente.

- **Carga mínima** = $0.01 \cdot C$, en los rodamientos de bolas .
- **Carga mínima** = $0.02 \cdot C$, en los rodamientos de rodillos.

2.8.3.10. Duración o vida útil , vida nominal

La duración o vida útil de un rodamiento. Número total de revoluciones (o número de horas operando), en condiciones operativas constantes de velocidad y carga, que está el rodamiento funcionando hasta alcanzar un fallo por fatiga del material.

Se ha comprobado que, en condiciones de laboratorio (bien alineado, buena lubricación, sin suciedad, sin humedad y en condiciones acotadas de carga y velocidad) los rodamientos se deterioran por fatiga del material.

La vida nominal de un rodamiento se basa en un modelo estadístico al 90% y se define como el nº total de revoluciones que el 90% de los rodamientos de un grupo idéntico, sometidos a iguales condiciones operativas de laboratorio, alcanzará o sobrepasará antes de que ocurra el fallo por fatiga del metal.

Para rodamientos operando a velocidad constante, la vida nominal (90% de confianza) se expresa como el número total de horas operativas.

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P} \right)^p \cdot 10^6 \text{ rev.} = \frac{10^6}{60 \cdot n} \cdot \left(\frac{C}{P} \right)^p \text{ horas}$$

2.8.3.11. Selección de rodamientos según su vida útil

Teniendo en cuenta el valor de la vida nominal de los rodamientos, dependiendo del tipo de maquinaria, y el tipo de servicio que el rodamiento va a dar, el siguiente cuadro muestra la vida útil recomendada para cada aplicación.

S → Probabilidad de supervivencia de un rodamiento (normalizada). Es el cociente entre el n° de rodamientos que superan un determinado n° de revoluciones sin fallo y el n° total de rodamiento de la muestra.

F → Probabilidad de fallo de un rodamiento (normalizado).



Figura 2. 103 % rodamientos con fallo en función vida rodamiento.

2.8.3.12. Proceso de cálculo de la vida nominal

- Selección del tamaño y tipo de rodamiento.
 - Requisitos técnicos.
 - Condiciones operativas.
- Calculo de la carga dinámica equivalente que soportará el rodamiento.

$$P = \sqrt[p]{\frac{\sum \left(\frac{1}{a_i} \cdot q_i \cdot n_i \cdot P_i^p \right)}{\sum (q_i \cdot n_i)}}$$

- Determinación final de la vida nominal

La estimación de la vida nominal puede ser mejorada considerando factores operativos, técnicos o de fiabilidad:

- Vida nominal ajustada (ISO 281).
- Vida nominal ajustada ampliada (ISO 281).

2.8.4. COMBINACIÓN DE CARGAS

Las combinaciones de cargas que se aplican sobre un rodamiento se pueden descomponer en cargas axiales y radiales, que en función del tipo de rodamiento al que se le apliquen, darán lugar a un punto de aplicación y a una distribución de cargas diferentes.

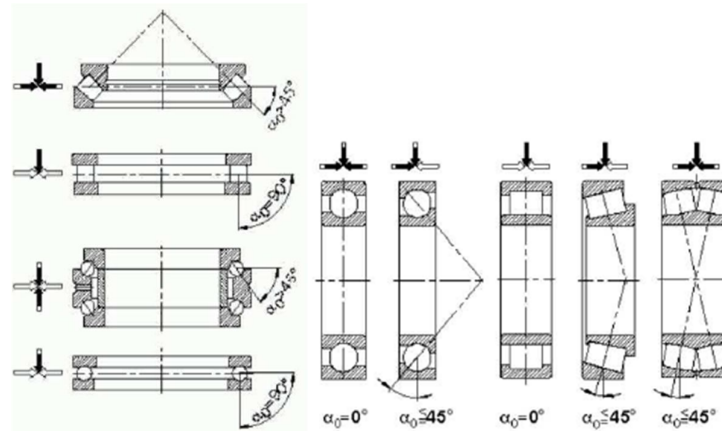


Figura 2. 104 Combinación de cargas.



CAPITULO 3

3.VIBRACIONES



3.1. INTRODUCCION

3.1.1. CONCEPTO DE VIBRACION

Movimiento vibratorio o vibración es la variación o cambio de configuración de un sistema en relación al tiempo, en torno a una posición de equilibrio estable, su característica fundamental es que es periódico, siendo frecuente el movimiento armónico simple, por lo que este movimiento adquiere una singular importancia en los estudios vibratorios.

Los términos *movimiento*, *oscilación* y *vibración* no son sinónimos. Por ejemplo, una rueda se mueve pero no oscila; y un péndulo simple oscila pero no vibra.

La diferencia específica del concepto de vibración (u oscilación) se encuentra haciendo intervenir el **concepto de energía**. La oscilación y la vibración se prolongan en el tiempo mediante un proceso de conversión entre distintos tipos de energía.

Para que un sistema mecánico vibre es necesario que aparezca un tipo de energía especial: la ENERGÍA de DEFORMACIÓN o la ENERGÍA POTENCIAL ELÁSTICA.

Los sistemas mecánicos al ser sometidos a la acción de fuerzas variables con el tiempo, principalmente periódicas, responden variando sus estados de equilibrio y, como consecuencia, presentan cambios de configuración que perturban su normal funcionamiento, presentan molestias al personal que los maneja y acortan la vida útil de los mecanismos.

Actualmente, el estudio y análisis de las vibraciones mecánicas ha adquirido gran importancia en la supervisión de los sistemas mecánicos, sobre todo de elementos de tipo rotativo. Independientemente de los planes de mantenimiento correctivo y preventivo, el plan de mantenimiento predictivo se basa, principalmente, en el estudio de las vibraciones mediante la instalación de sensores que permiten detectar vibraciones fuera de rango.

En general, se suponen vibraciones de pequeña amplitud porque fuera de ellas dejan de tener validez la mayoría de las hipótesis que se establecen para su estudio.

3.1.2. ¿QUÉ ES UN ONDA?

Es una perturbación que sin ser en sí mismo algo material viaja de un sitio a otro transportando energía. La elasticidad de la materia provoca la transmisión de la perturbación entre las capas, con lo que la forma de la onda se propaga a través del medio.

En un movimiento ondulatorio se transmite energía de una partícula a otra pero no materia, y dicha transmisión está condicionada por la capacidad del medio para propagar las ondas.

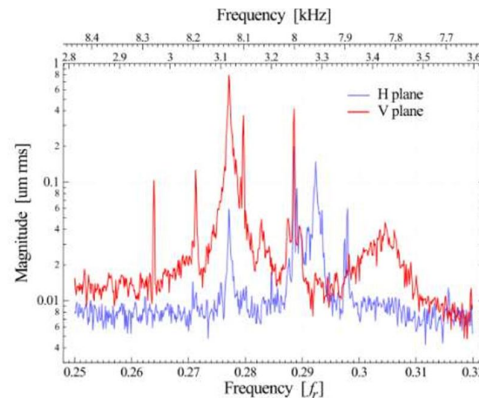


Figura 3. 1.- Ejemplo señal vibración, frecuencia/magnitud

3.1.3. REPRESENTACION DE UNA ONDA

En física, una onda es una propagación de una perturbación de alguna propiedad de un medio, por ejemplo, densidad, presión, campo eléctrico o campo magnético, que se propaga a través del espacio transportando energía. El medio perturbado puede ser de naturaleza diversa como aire, agua, un trozo de metal o el vacío.

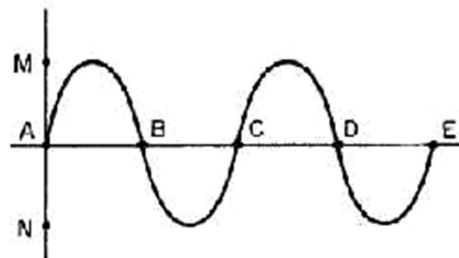


Figura 3. 2.- Representación de una onda.



3.1.3.1. Elementos de una onda

La cresta (C): Es el punto que ocupa la posición más alta en una onda.

Valle (V): Es el punto más bajo de la onda.

Elongación (E): Es la distancia comprendida entre la posición de equilibrio de un punto en oscilación y la posición donde se encuentra un objeto en un instante determinado.

La amplitud (A): La preparación entre su posición de equilibrio y su máxima altura es la amplitud (A).

La longitud: La distancia entre dos crestas consecutivas de una misma onda entre dos valles consecutivos; generalmente, la longitud de onda se considera como la distancia entre dos puntos que están en el mismo estado de vibración.

Onda completa: Es cuando todo el punto de oscilación ha tomado todo los valores positivos y negativos.

El periodo: Cuando producimos ondas en sucesivos impulsos hacia arriba y hacia abajo, las ondas formadas viajan. El tiempo que se toma una onda en pasar por un punto del medio material perturbado es lo que constituye el período. Se designa por P.

La frecuencia: Si por el contrario controlamos el número de ondas que pasan por un punto la unidad de tiempo, entonces nos referimos a la frecuencia. Se designa por F

3.1.4. MODELO MECANICO

En general, se suponen vibraciones de pequeña amplitud porque fuera de ellas dejan de tener validez la mayoría de las hipótesis que se establecen para su estudio. Supongamos el sistema de la figura, formado por una masa principal m , un elemento recuperador elástico de constante k y un dispositivo amortiguador de constante c .

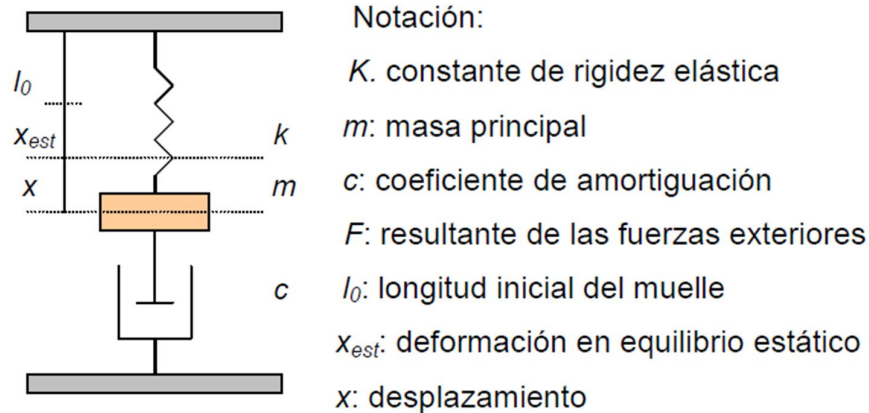


Figura 3. 3.- Modelo mecánico de un grado de libertad, con resorte y amortiguador.

Consideraremos las siguientes hipótesis:

- a) La masa tiene un guiado vertical, sin rozamiento, que permite únicamente desplazamientos verticales, e impide otros desplazamientos y giros.
- b) El **muelle tiene masa despreciable** frente a la masa principal del sistema y su fuerza recuperadora elástica es proporcional a su deformación.
- c) El dispositivo **amortiguador tiene sus masas móviles despreciables** frente a la masa principal del sistema y está basado en un rozamiento de tipo viscoso, con fuerza de rozamiento opuesto a la velocidad y proporcional a ella.
- d) El sistema se supone situado en el vacío.

La ecuación del equilibrio dinámico permite establecer la **ecuación diferencial del movimiento**:

$$mx'' + cx' + kx = F$$

3.1.4.1. SISTEMAS DE 1 GRADO DE LIBERTAD

Grado de libertad (GDL): Son los parámetros necesarios para definir de forma unívoca la configuración de un sistema, en este caso un sistema vibratorio. Por ejemplo la masa unida al resorte y el péndulo de las figuras son ejemplos de un sistema vibratorio y oscilatorio respectivamente pero ambos de 1 grado de libertad, ya que para definir el estado del sistema tal solo habrá que conocer la coordenada

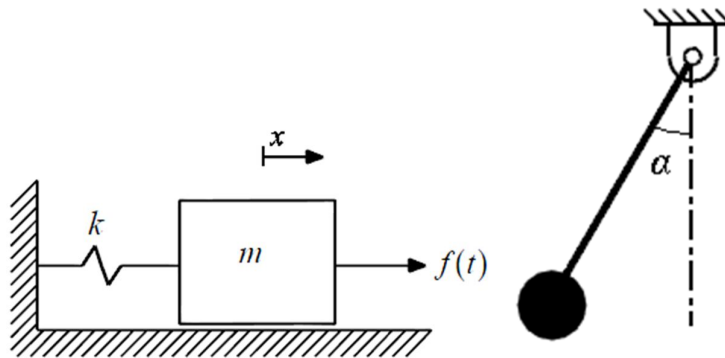


Figura 3. 4.- Ejemplos de sistemas de 1 GDL

Utilidad de los sistemas de grado de libertad: Son, por una parte, sencillos y por otra, se dan en la práctica en sistemas que son directamente asimilables a sistemas vibratorios de 1 GDL. Además otra propiedad importante es que los sistemas de N GDL se pueden estudiar como N sistemas de 1 GDL. El sistema de la imagen derecha es un sistema de 2 GDL, que podremos reducir a 2 sistemas de 1GDL relacionando parámetros de uno con el estado del otro.

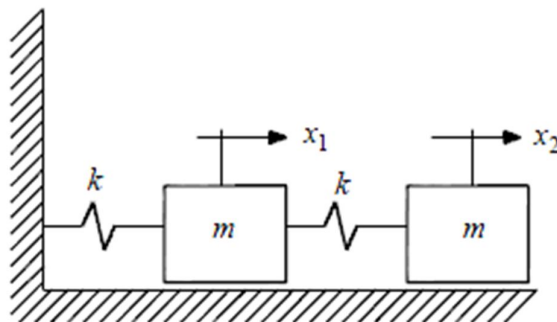


Figura 3. 5.- Sistema de 2 grados de libertad.

Como hemos dicho, los sistemas de 1 GDL son los modelos más extendidos tanto por su aplicación directa, como de forma derivada componiendo otros más complejos, así un sistema de 1 GDL puede contener una componente potencial, como por ejemplo un resorte, y una componente disipativa, como pueden ser un amortiguador o fuerzas resistivas, tal y como representa la figura siguiente:

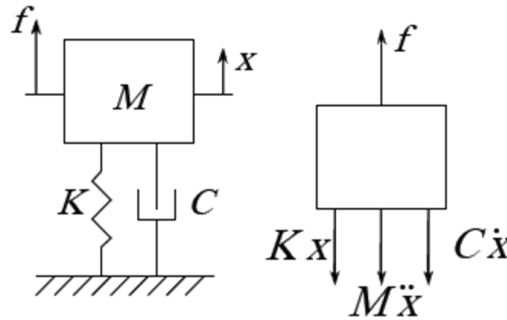


Figura 3. 6.- Representación de un sistema de 1 GDL.

Realizando el **Equilibrio dinámico** obtenemos la expresión $M\ddot{x} + C\dot{x} + Kx = f$ cuando $C=0$ y la fuerza es armónica y por lo tanto de la forma $f = F \cos \omega t$ en la cual resulta una solución de la forma

$$(-\omega^2 M + K)x = f \quad x = \frac{F}{-\omega^2 M + K}$$

En la ecuación anterior si tenemos el parámetro $\omega = \sqrt{\frac{K}{M}}$ a esta frecuencia se observa que el desplazamiento (x) tiende a ∞ . El parámetro ω particular es la frecuencia natural del sistema o frecuencia de resonancia. Debido a esta tendencia al infinito del desplazamiento de la vibración al acercarnos a esta frecuencia de resonancia, este es un parámetro a tener muy en cuenta en el diseño de estructuras y sistemas mecánicos, ya que este efecto puede llegar a colapsar estos sistemas.

Si existe **amortiguamiento** y el sistema está excitado por una fuerza excitadora, con la expresión $f = F \cos \omega_0 t$. La función de transferencia del sistema será igual a:

$$H(\lambda) = \sqrt{\frac{1 + (2\zeta\lambda)^2}{(1 - \lambda^2)^2 + (2\zeta\lambda)^2}}$$

Mientras que tendremos un parámetro de **amortiguamiento relativo**, que sigue la expresión $\zeta = \frac{C}{2\sqrt{KM}}$

La relación entre la frecuencia natural del sistema y la frecuencia de la fuerza excitadora será $\lambda = \frac{\omega}{\omega_0}$. El denominador de la función de transferencia es conocido como

FACTOR DE AMPLIFICACIÓN DINÁMICA $D = \sqrt{\frac{1}{(1-\lambda^2)^2 + (2\zeta\lambda)^2}}$.

En la gráfica de la figura siguiente podemos ver como aumenta la amplitud conforme le frecuencia de excitación se aproxima a la frecuencia de resonancia del sistema.

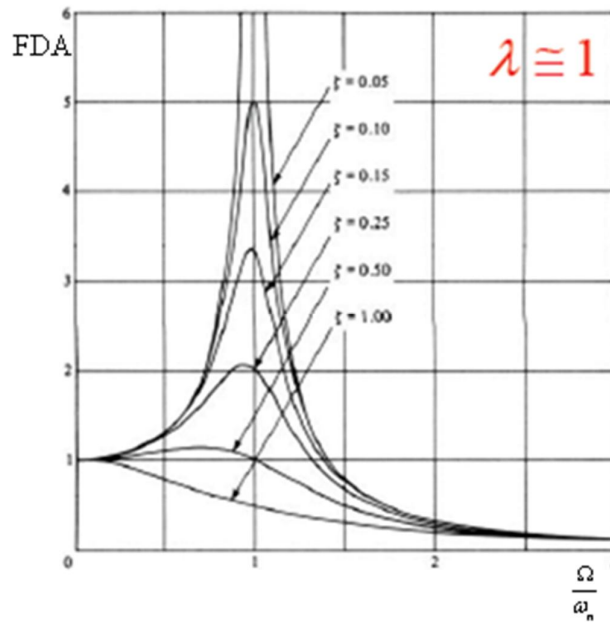


Figura 3. 7.- Variación del FDA en función de β y de ζ .

3.1.5. REPRESENTACION DE LAS VIBRACIONES

Una vibración suele tratarse de una onda compleja, sin embargo para un su estudio podemos descomponerlas en varias más sencillas mediante la aplicación de **series de fourier**.

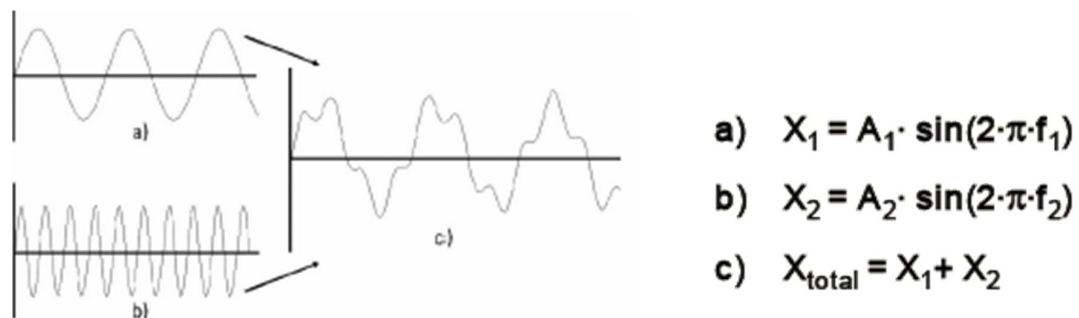


Figura 3. 8.- Representación onda compleja en 2 más sencillas.

3.1.6. EJEMPLOS DE SEÑALES TÍPICAS

Aquí podemos ver unos ejemplos de señales de onda, de distintos elementos, representadas tanto en frecuencia como en tiempo.

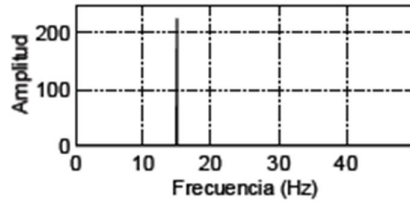


Figura 3. 9.- Señal temporal de un diapasón.

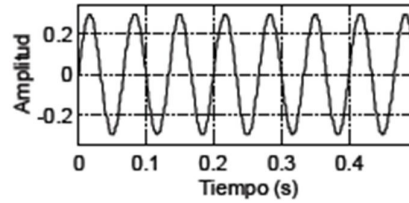


Figura 3. 10.- Señal frecuencial de un diapasón.

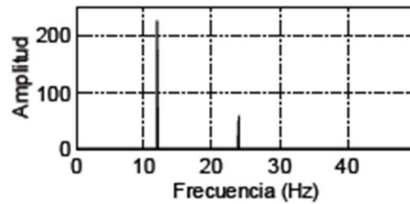


Figura 3. 11.- Señal temporal del pistón de un motor.

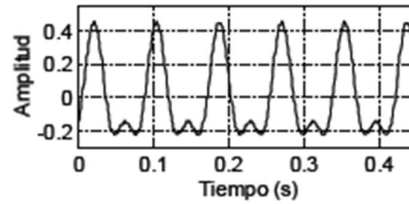


Figura 3. 12.- Señal frecuencial del pistón de un motor.

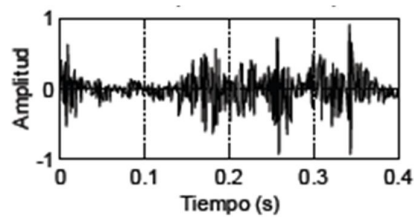


Figura 3. 13.- Señal temporal de una máquina.

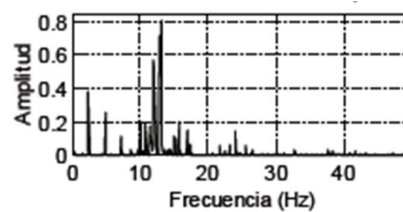


Figura 3. 14.- Señal frecuencial de una máquina.

3.2. CLASIFICACION DE VIBRACIONES MECANICAS

3.2.1. ¿CÓMO PODEMOS CLASIFICARLAS?

No resulta sencillo clasificar las vibraciones, ya que podríamos hablar de un tipo de vibración por cada tipo de movimiento generado, por lo tanto clasificaremos el tipo de movimiento que generan, que vendrá determinado por las propiedades del material del sistema, su disposición y la excitación del mismo. De esta forma podremos clasificar su movimiento dependiendo de varios parámetros:

Vibración lineal: si los componentes básicos de un sistema tienen un comportamiento lineal la vibración resultante es lineal.

Vibración no lineal: se produce si alguno de sus componentes se comporta como no lineal.

El comportamiento lineal de un elemento facilita su estudio, en la realidad todo elemento de comporta como no lineal pero los resultados de su estudio no difieren, en su mayoría, a los realizados si se consideran como elementos lineales. Un ejemplo de ello es el **resorte**, donde según la ley de Hooke el comportamiento fuerza-deformación es lineal.

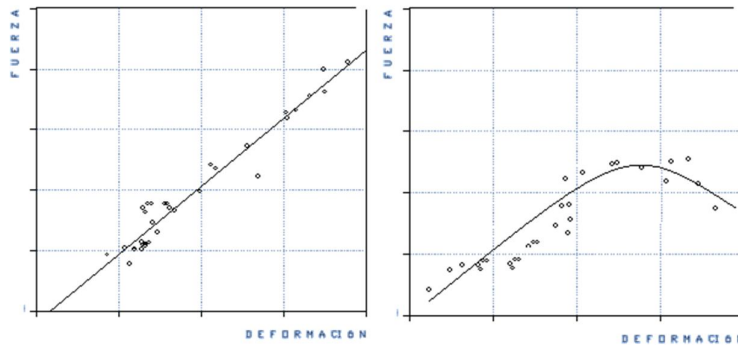


Figura 3. 15.-Graficas con progresión lineal y no lineal

Cuando el comportamiento vibratorio de un sistema se puede representar por medio de una ecuación matemática entonces se dice que la **vibración** es **determinística**, pero si se tiene que determinar por ecuaciones probabilísticas entonces la **vibración** es **probabilística, aleatoria** o random.

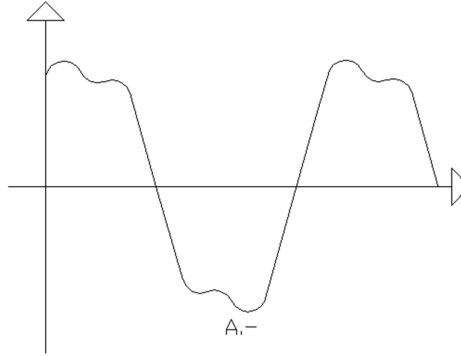


Figura 3. 16.- Vibración determinística.

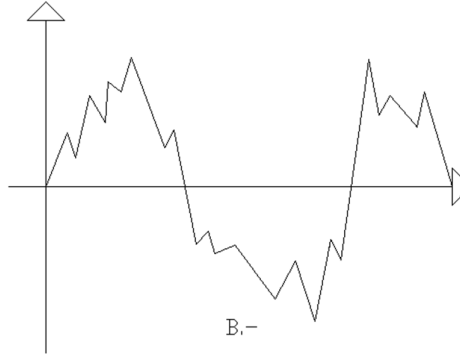


Figura 3. 17.- Vibración aleatoria

Tomaremos como modelo mecánico un sistema de 1 grado de libertad. Una variable para comenzar a clasificar los tipos de vibraciones de una forma bastante clara es la existencia o no de excitación del sistema. De esta forma podemos tener:

Vibraciones Libres. Cuando no existen fuerzas o acciones exteriores directamente aplicadas al sistema a lo largo del tiempo.

Vibraciones Forzadas. Cuando existen acciones o excitaciones directamente aplicadas al sistema a lo largo del tiempo, además de las fuerzas o momentos internos.

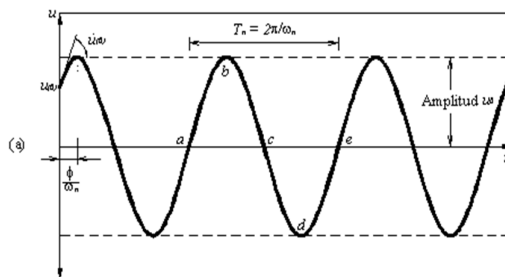


Figura 3. 18.- Parámetros de una onda. Figura.

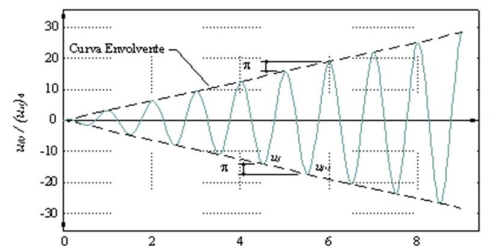


Figura 3. 19.- Vibración forzada.

Tanto las vibraciones libres como las forzadas pueden subdividirse, dependiendo de la existencia o no de fuerzas resistentes que amortiguan el movimiento vibratorio, en:

- **Sin amortiguamiento.** No existe resistencia pasiva al movimiento del sistema.
- **Con amortiguamiento.** Existen resistencias pasivas al movimiento del sistema, es decir, fuerzas o momentos disipativos que amortiguan el movimiento vibratorio.

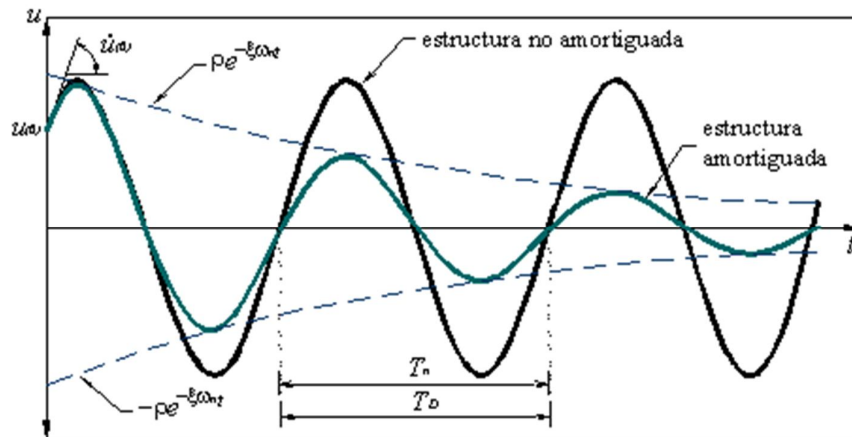


Figura 3. 20.- Onda de vibraciones amortiguada y no amortiguada.

3.2.2. VIBRACIONES LIBRES SIN AMORTIGUAMIENTO.

La ecuación diferencial del movimiento es $m\ddot{x} + kx = 0$, su ecuación característica es $mr^2 + k = 0$, siendo sus raíces imaginarias conjugadas:

$$r = \pm \sqrt{\frac{k}{m}} i$$

La solución general es de la forma $x = a \sin(\omega_n t + \phi)$ donde a (amplitud) y ϕ (fase inicial) son constantes que se pueden determinar, con las condiciones iniciales. La frecuencia natural de la vibración y el periodo son:

$$\omega_n = \sqrt{\frac{k}{m}}; \quad T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$$

En este tipo de vibraciones se cumple el principio de la conservación de la energía mecánica, es decir, la suma de la energía cinética y el potencial elástico es constante e igual a la energía total comunicada inicialmente al sistema, por lo que:

$$\frac{m}{2} \dot{x}^2 + \frac{k}{2} x^2 = Cte = \frac{1}{2} k a^2$$

3.2.3. VIBRACIONES LIBRES CON AMORTIGUAMIENTO.

En todos los movimientos oscilantes reales, se disipa energía mecánica debido a algún tipo de fricción o rozamiento, de forma que dejado libremente a sí mismo, un muelle o péndulo finalmente deja de oscilar. Este movimiento se denomina amortiguado y se caracteriza porque tanto la amplitud como la energía mecánica disminuyen con el tiempo.

La ecuación diferencial que describe el movimiento es $m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = 0$; la ecuación característica es $mr^2 + cr + k = 0$, cuyas raíces son:

$$r = -\frac{c}{2m} \pm \sqrt{\left(\frac{c}{2m}\right)^2 - \frac{k}{m}}$$

Si el sistema es amortiguado, se presentan tres casos posibles:

a) **Amortiguamiento supercrítico:**

$$\frac{c^2}{4m^2} > \frac{k}{m} \Rightarrow c > 2\sqrt{km}$$

Las raíces r_1 y r_2 son reales y distintas. La solución de esta ecuación, amortiguada pero no armónica, es de la forma:

$$x = C_1 e^{r_1 t} + C_2 e^{r_2 t}$$

Donde C_1 y C_2 son las constantes de integración. El sistema no oscila, simplemente vuelve a la posición de equilibrio, cuanto mayor es el amortiguamiento, más tiempo tarda el sistema en alcanzar la posición de equilibrio.

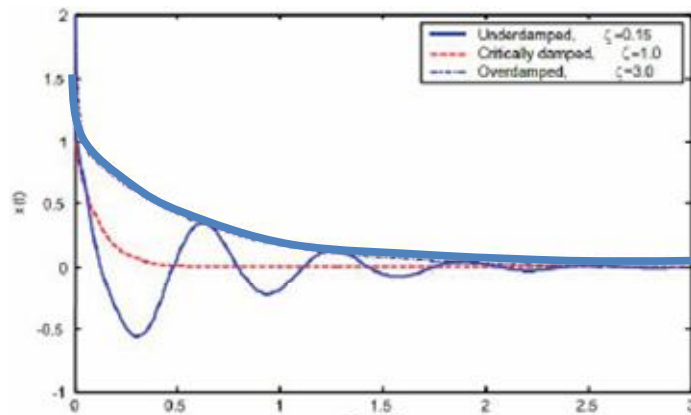


Figura 3. 21.- Representación vibración sobre amortiguada.

b) Amortiguamiento crítico:

$$\frac{c^2}{4m^2} = \frac{k}{m} \Rightarrow c = 2\sqrt{km} = c_{cr}$$

La raíz de la ecuación característica es doble e igual a $r = -\frac{c_{cr}}{2m}$

La solución, amortiguada pero no armónica, es de la forma:

$$x = e^{-\frac{c_{cr}}{2m}t} (C_1 + C_2 t)$$

El sistema vuelve a la posición de equilibrio en el tiempo más breve posible sin oscilación. El amortiguamiento crítico tiene una importancia especial porque separa los movimientos aperiódicos (no oscilatorios) de los oscilatorios amortiguados. Es decir, el valor crítico es la menor cantidad de amortiguamiento para que el sistema no oscile. En muchas aplicaciones prácticas se utiliza un amortiguamiento crítico, o próximo al crítico, para evitar vibraciones y conseguir que el sistema alcance el equilibrio rápidamente.

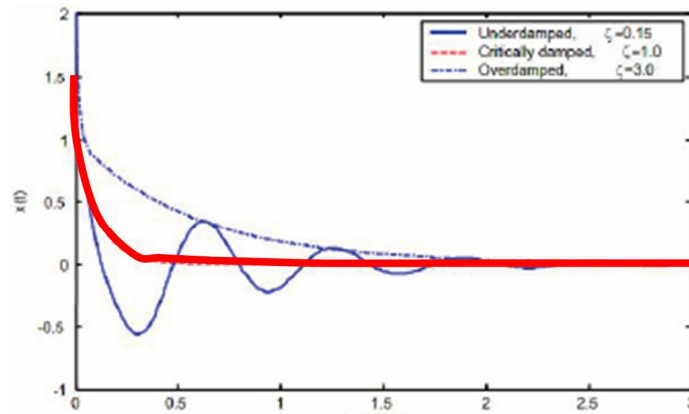


Figura 3. 22.- Representación vibración con amortiguamiento crítico.

c) Amortiguamiento subcrítico:

$$\frac{c^2}{4m^2} < \frac{k}{m} \Rightarrow c < 2\sqrt{km}$$

Las raíces son imaginarias conjugadas e iguales a:

$$r = -\frac{c}{2m} \pm \sqrt{\frac{k}{m} - \left(\frac{c}{2m}\right)^2} i = -\frac{c}{2m} \pm \omega_n' i$$

y la frecuencia de la vibración amortiguada es:

$$\omega_n' = \sqrt{\frac{k}{m} - \left(\frac{c}{2m}\right)^2}$$

La solución es de la forma:

$$x = ae^{-\frac{c}{2m}t} \sin(\omega_n' t + \varphi)$$

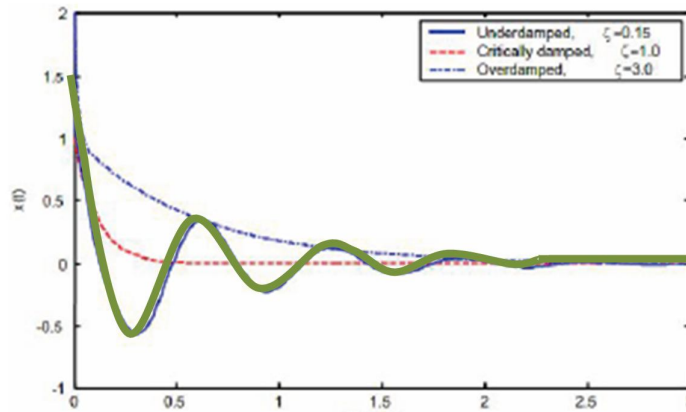


Figura 3. 23.- Representación vibración subamortiguada.

Esta solución es aproximadamente armónica, es decir, existe una cierta periodicidad en el movimiento con intervalos temporales medidos por el pseudoperíodo T' , que se puede expresar en función del período T correspondiente a la vibración no amortiguada a través de la relación.

$$T' = \frac{2\pi}{\omega_n'} = \frac{T}{\sqrt{1 - \left(\frac{c}{c_{cr}}\right)^2}}$$

Elevando al cuadrado la expresión de la frecuencia de la vibración amortiguada, se tiene:

$$\omega_n'^2 = \frac{k}{m} - \frac{c^2}{4m^2} = \frac{k}{m} \left(1 - \frac{c^2}{4km}\right) = \omega_n^2 \left(1 - \frac{c^2}{c_{cr}^2}\right) \Rightarrow \left(\frac{\omega_n'}{\omega_n}\right)^2 + \left(\frac{c}{c_{cr}}\right)^2 = 1$$

Relación que permite la determinación del coeficiente de amortiguamiento para unas frecuencias dadas a priori o medidas experimentalmente.

$$f = \frac{c}{c_{cr}}$$

Este factor es denominado factor de amortiguación y también obtendremos el factor de frecuencias

$$\Omega = \frac{\omega_n'}{\omega_n}$$

se obtiene la ecuación de una elipse $f^2 + \omega^2 = 1$

En las vibraciones amortiguadas, por ser un movimiento aperiódico no se cumple el principio de conservación de la energía mecánica, pero si el de la energía total, de forma que la suma de la energía cinética, el potencial elástico y la energía disipada en forma de calor, debido a la existencia de amortiguamiento, se mantiene constante,

$$\frac{m}{2}x'^2 + \frac{k}{2}x^2 + c \int_0^t x'^2 dt = Cte.$$

los dos primeros términos disminuyen con el tiempo y la energía disipada tiende a alcanzar el valor máximo, es decir, existe transformación de energía mecánica en calorífica.



3.2.4. VIBRACIONES FORZADAS SIN AMORTIGUAMIENTO.

Para mantener un sistema oscilando es necesario suministrar energía al sistema, cuando esto se lleva a cabo se dice que la vibración es forzada. Si se introduce energía en el sistema a un ritmo mayor del que se disipa, la energía aumenta con el tiempo, lo que se manifiesta por un aumento de la amplitud del movimiento. Si la energía se proporciona al mismo ritmo que se disipa, la amplitud permanece constante con el tiempo.

La ecuación diferencial del movimiento, teniendo en cuenta que la fuerza es de tipo periódico, es: $m\ddot{x} + kx = F = F_0 \cos \omega t$ donde F_0 es la amplitud y ω la frecuencia de la fuerza excitadora.

La solución general de la ecuación diferencial se obtiene añadiendo a la solución general de la homogénea una solución particular de la completa ($x = x_h + x_p$). La ecuación característica es $mr^2 + k = 0$, las raíces de esta ecuación son imaginarias conjugadas $r = \pm \sqrt{\frac{k}{m}}i$ y la solución general de la homogénea es $x_h = a \sin(\omega_n t + \varphi)$. La solución particular de la completa es $x_p = A \cos \omega t$. Así, la solución general tiene por expresión:

$$x = a \cos(\omega_n t + \varphi) + \frac{F_0/k}{1 - \frac{\omega^2}{\omega_n^2}} \cos \omega t$$

En todo sistema no amortiguado y forzado armónicamente, el movimiento resultante se compone de la suma de dos armónicos, uno de frecuencia natural ω_n y otro de frecuencia de la fuerza exterior ω . La amplitud del primero depende de las condiciones iniciales y se anula para unos valores particulares, la amplitud del segundo depende de la proximidad de ambas frecuencias a través de la expresión denominada **factor de resonancia**:

$$\rho = \frac{1}{1 - \frac{\omega^2}{\omega_n^2}} = \frac{A}{x_{est}}$$

BATIMIENTO. Fenómeno producido cuando la frecuencia natural del sistema (ω_n) toma un valor muy próximo a la frecuencia de la fuerza exterior (ω), es decir, en el caso particular en que $\omega_n = \omega + \Delta\omega$. Para perturbación inicial nula ($x_0 = x'_0 = 0$) se obtiene,

$$x = \frac{F_0 \omega_n}{k \Delta\omega} \sin \frac{\Delta\omega}{2} t \sin \omega_n t$$

Se trata de un movimiento armónico de frecuencia ω_n y de amplitud también armónica, ésta crece hasta un máximo y disminuye hasta que se anula, repitiendo este ciclo de forma periódica.

RESONANCIA. Una característica muy significativa del movimiento oscilatorio tiene lugar cuando la fuerza excitadora de las vibraciones tiene unas frecuencias particulares, para cada sistema dado, produciéndose cambios de configuración de los sistemas mecánicos que alcanzan amplitudes notables, y generalmente, ocasionan un fallo estructural del material sometido a esfuerzos de rotura: efectos resonantes. Este riesgo se produce incluso con fuerzas excitadoras muy pequeñas ya que depende de las características del material sometido a vibración. Cuando la frecuencia de la fuerza exterior es igual a la frecuencia natural del sistema ($\omega = \omega_n$), es decir, cuando $\Delta\omega \rightarrow 0$, se produce la resonancia, la ecuación que rige dicho fenómeno es:

$$x = \frac{F_0 \omega}{2k} t \sin \omega_n t$$

Expresión que corresponde a un movimiento armónico de frecuencia ω_n y cuya amplitud tiende a infinito cuando $t \rightarrow \infty$.

3.2.5. VIBRACIONES FORZADAS CON AMORTIGUAMIENTO.

La ecuación diferencial del movimiento, teniendo en cuenta que la fuerza es de tipo periódico, $F = F_0 \sin \omega t$ es de la forma $m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = F$

La ecuación característica correspondiente a la ecuación diferencial homogénea es $m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = 0$. Se supone amortiguamiento inferior al crítico para que resulte una vibración, la solución general se obtiene añadiendo a la solución de la ecuación diferencial de la homogénea una solución particular de la completa ($x = x_h + x_p$), resultando

$$x = ae^{-\frac{c}{2m}t} \sin(\omega_n' t + \varphi) + A \sin(\omega t - \Theta)$$

Esta solución consta de dos partes, una solución transitoria, en la que el primer término (x_h) al cabo de un tiempo generalmente breve, se reduce a un valor despreciable, y la solución estacionaria (x_p) en la que el sistema oscila con frecuencia ω amplitud A constante y desfase Θ cuyas expresiones son las que se muestran en el lateral.

$$\operatorname{tg} \Theta = \frac{c \omega}{k - m \omega^2} \quad A = \frac{F_0 / m \omega_n^2}{\sqrt{\left[1 - \left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2\right]^2 + \left(2 \frac{c}{c_{cr}} \frac{\omega}{\omega_n}\right)^2}}$$

3.3. RELACIÓN VIBRACION DEFECTO

3.3.1. VIBRACION, CONSECUENCIA Y HERRAMIENTAS

Las vibraciones al igual que otros parámetros constituyen, por un lado, un síntoma de mal funcionamiento y un riesgo para la integridad estructural de los componentes de la máquina si estas aumentan por encima de determinados umbrales, pero por otro son empleadas para la detección precoz de futuros fallos en máquinas.

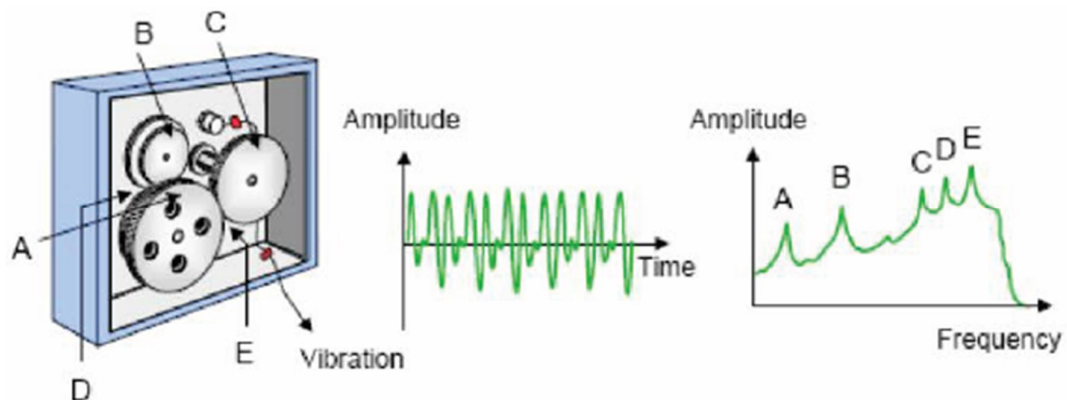


Figura 3. 24.- Cadena cinemática y las vibraciones característica de cada elemento.

Las averías en máquinas producidas por fatiga, roturas, etc. supone un elevado coste por la falta de productividad de la máquina, para evitar esto se genera una necesidad de mantenimiento que también tiene unos elevados costes, por lo que hay que realizar los mínimos trabajos de mantenimiento posibles, sin poner en riesgo la finalidad del propio mantenimiento que es evitar las averías de las máquinas en la medida de lo posible.

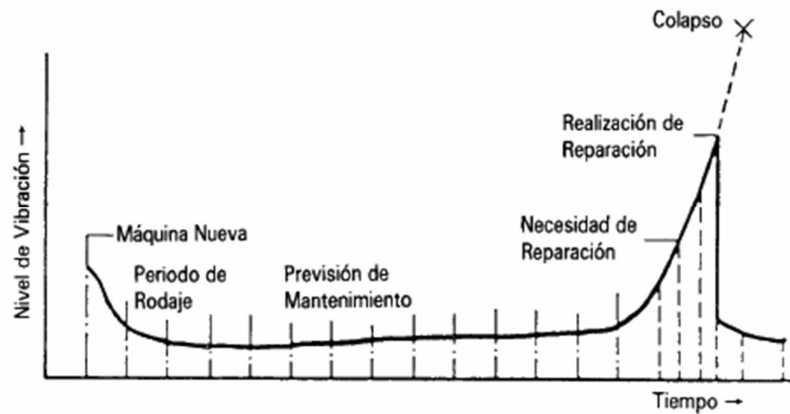


Figura 3. 25.- Estado de la máquina en función del nivel de vibración y el tiempo.

Los distintos elementos de una máquina emiten sus vibraciones con una frecuencia propiamente característica, así a la hora de detectar una vibración anómala esto nos permitirá saber su origen.

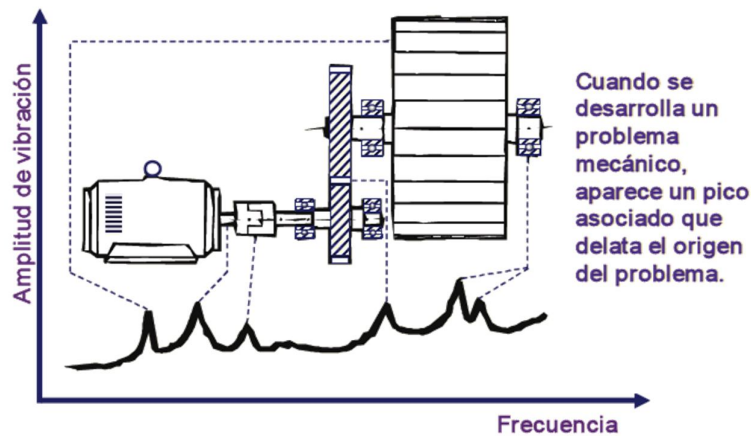


Figura 3. 26.- Esquema identificación origen de picos en el dominio de frecuencia

Existe una relación clara entre cada defecto y el pico de frecuencia detectado en el dominio de frecuencia.

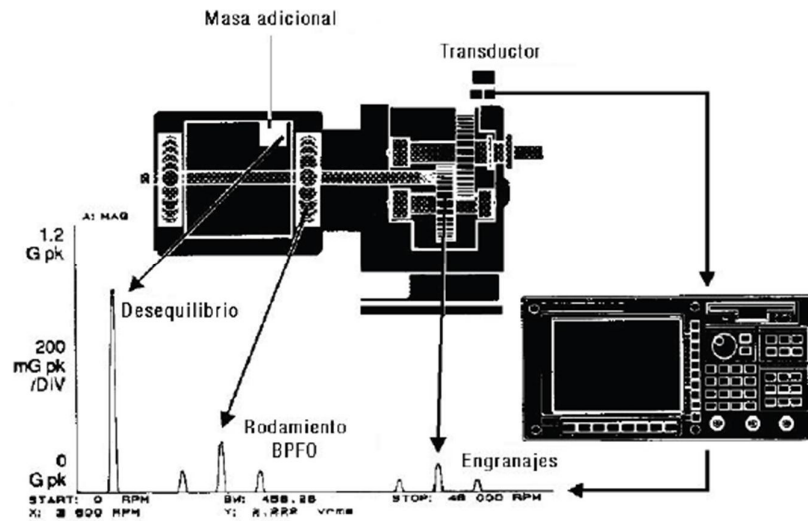


Figura 3. 27.- Esquema identificación origen de picos en el dominio de frecuencia.

3.3.2. ¿POR QUÉ EL DOMINIO DE FRECUENCIA?

El uso del análisis del dominio de frecuencia es, en muchas áreas de aplicación, predominante mientras que el uso racional suele ignorarse. Esto es debido a estas posibles razones principales:

1. La comprensión física es fácil de obtener en el dominio de frecuencia, en oposición al dominio original de tiempo que describe señales y sistemas.
2. Es posible investigar de manera independiente la contribución de las regiones de frecuencia del total de la energía.
3. Los patrones de señales para el diagnóstico se puede reconocer más fácilmente. Pequeños cambios que apenas afectan al compás del tiempo, suelen ser detectados más fácilmente en representaciones del dominio de frecuencia.
4. Los sistemas suelen modelarse como tramos de sistemas lineales, que aplicando transformadas de Fourier se obtienen formas cercanas a la solución y los dominios de frecuencia. Por lo que es más sencillo la comparación con los modelos teóricos.

5. La disponibilidad de la transformada rápida de Fourier, es el algoritmo esencial para el procesamiento de señales.

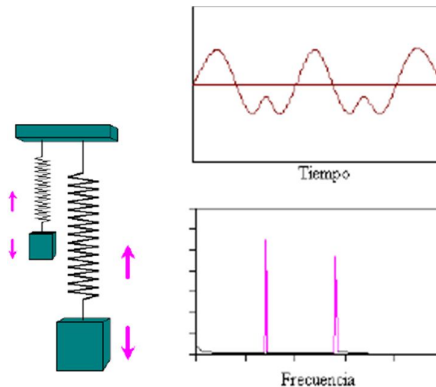


Figura 3. 28.- Ejemplo de sistema de 2 GDL en el que se muestra su dominio de tiempo y de frecuencia.

3.4. PROCESOS DE DIAGNOSIS DE DEFECTOS

El proceso sigue unos pasos determinados que veremos más adelante y requiere de una serie de equipos para su medición, registro y procesamiento.

Todos estos componentes se conectan entre sí a través de un bus de datos.

El proceso sigue unos pasos determinados que veremos más adelante y requiere de una serie de equipos para su medición, registro y procesamiento.

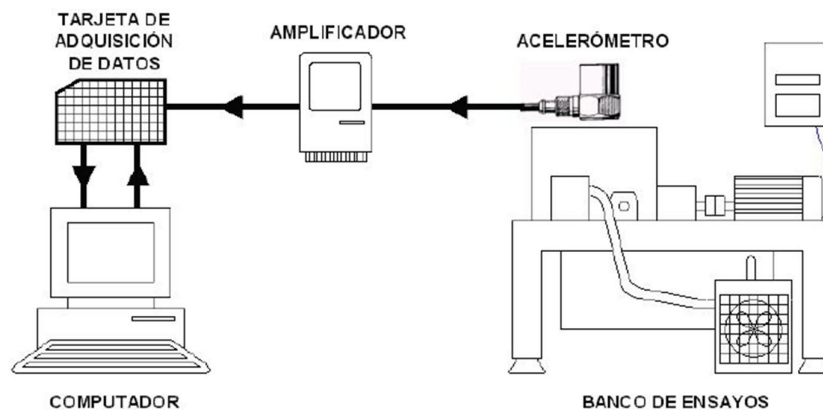


Figura 3. 29.- Esquema básico de captación de señal vibratoria.

El esquema anterior es válido para montajes en banco de ensayos pero no es aplicable de forma directa a ambientes industriales y al día a día del mantenimiento de máquinas.

Sin embargo existen aplicaciones comerciales adaptadas a este tipo de uso intensivo y rápido, este tipo de técnica se denomina *análisis de vibraciones “in situ”*.

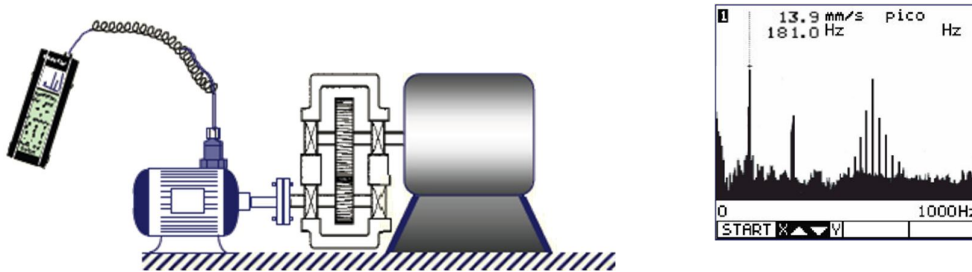


Figura 3. 30.- Esquema explicativo de mantenimiento de máquinas.

3.4.1. TÉCNICAS DE ANÁLISIS. ESPECTRO DE LA ENVOLVENTE.

El análisis del espectro de la envolvente se ha convertido en una de las técnicas más utilizadas para detectar anomalías en los rodamientos. La técnica utilizada tiene los siguientes pasos.

1. Captación de la señal de la vibración.
2. Filtrado de la señal con filtro de paso largo o pasa banda.
3. Rectificado de la señal.
4. Filtrado paso bajo.
5. Modulación de la señal.
6. Obtención del ESPECTRO DE POTENCIA

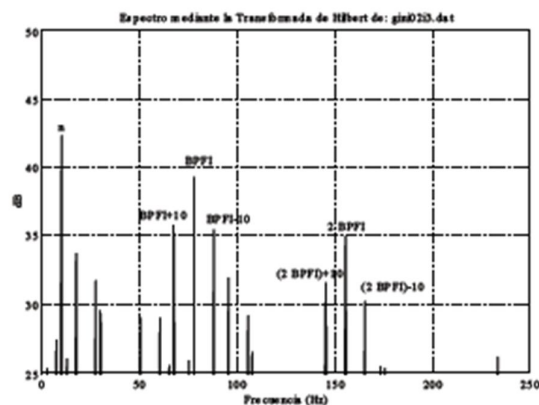


Figura 3. 31.- Esquema explicativo de la técnica de análisis, espectro de la envolvente.

3.4.2. TÉCNICAS DE ANÁLISIS. CEPSTRUM.

El *cepstrum* de una señal es la transformada de Fourier del logaritmo (con fase instantánea o no envolvente) del espectro de la señal estudiada. A veces es llamado el espectro del espectro. Da información del ritmo de cambio de las diferentes bandas de un espectro.

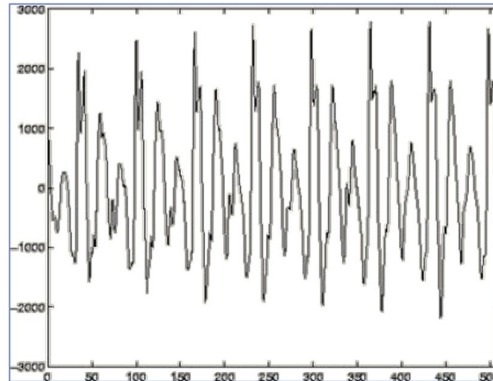
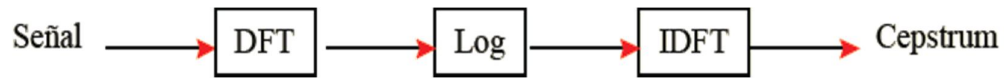


Figura 3. 32.- Señal.

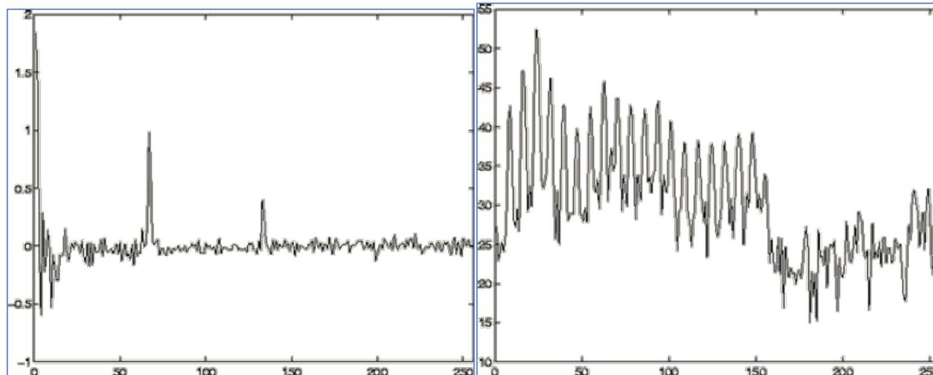


Figura 3. 33.- Potencia espectral.

Figura 3. 34.-Cepstrum

3.4.3. TÉCNICAS DE ANÁLISIS. "SPYKE ENERGY"

Es muy utilizada en máquinas con rodamientos de elementos rodantes en donde el daño de los mismos consiste usualmente en el desarrollo de micro-fisuras en las pistas de rodadura. Cada vez que el elemento rodante pasa por estas micro-fisuras se producen pequeños impactos, los cuales a su vez liberan una cierta cantidad de energía en pequeños intervalos de tiempo (pulsos).

La vibración originada por estos pulsos es mucho menor que la vibración total y no puede ser medida utilizando los métodos convencionales. Sin embargo, la aceleración durante los pulsos es muy alta. El método de spike energy consiste en detectar estos pulsos de alta aceleración y relacionarlos con fallas tempranas en rodamientos. La técnica utilizada tiene los siguientes pasos.

1. Captación de la señal de vibración.
2. Aplicación de filtros pasa banda con 6 frecuencias de paso alto.
3. Aplicación detector pico a pico y constantes de caída.
4. Obtención SPYKE ENERGY total.
5. Obtención espectro de SPYKE ENERGY

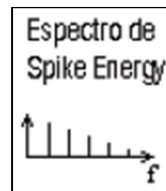


Figura 3. 35.- Esquema explicativo de las técnicas de análisis de Spyke energy.

3.4.4. TÉCNICAS DE ANÁLISIS. ESPECTRO DE POTENCIA

Se trata de una representación frecuencial de la densidad de potencia espectral (PSD)

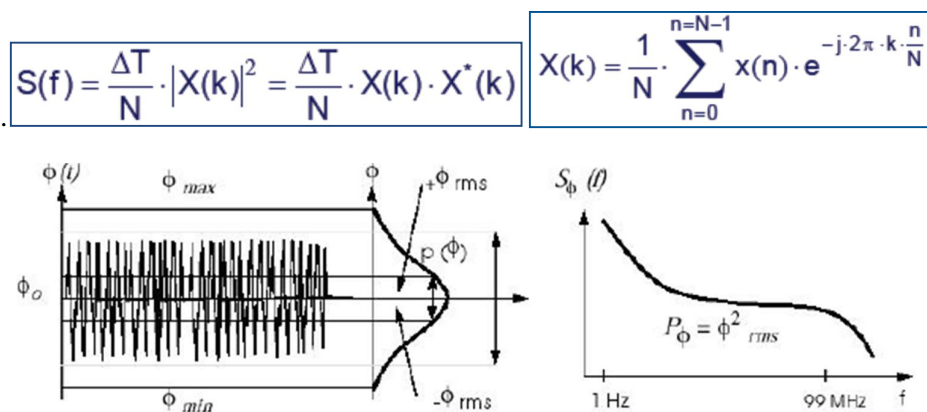


Figura 3. 36.- Graficas de espectro de potencia.

3.5. COMPONENTES Y FRECUENCIAS DE DETERIORO.

El deterioro de cada uno de los elementos que forman un rodamiento, generará una o varias frecuencias características en los espectros de frecuencia que nos permitirán una rápida y fácil identificación. Como ya hemos comentado anteriormente, las cuatro posibles frecuencias de deterioro de un rodamiento son:

- BPFO o frecuencia de deterioro de la pista exterior. Físicamente es el número de bolas o rodillos que pasan por un punto de la pista exterior cada vez que el eje realiza un giro completo.
- BPFI o frecuencia de deterioro de la pista interior. Físicamente es el número de bolas o rodillos que pasan por un punto de la pista interior cada vez que el eje realiza un giro completo.
- BSF o frecuencia de deterioro de los elementos rodantes. Físicamente es el número de giros que realiza una bola del rodamiento cada vez que el eje realiza un giro completo.
- FTF o frecuencia fundamental de tren o de deterioro de la jaula. Físicamente es el número de giros que realiza la jaula del rodamiento cada vez que el eje realiza un giro completo.

3.5.1. VIBRACIONES POR DEFECTOS EN RODAMIENTOS.

Defectos en la pista exterior. Los espectros se caracterizan por presentar picos armónicos de la frecuencia de deterioro de la pista exterior (entre 8 y 10 armónicos de la BPFO).

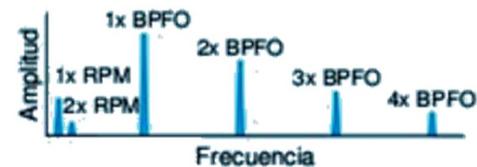
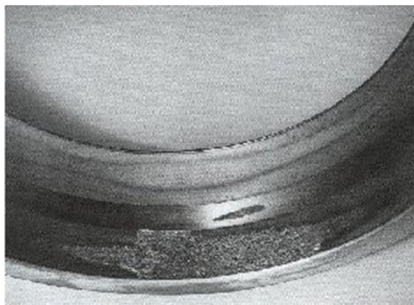


Figura 3. 37. Defecto en la pista y escala, en rodamiento a causa de la vibración.

Defectos en la pista interior. Los espectros presentan varios picos armónicos de la frecuencia de deterioro de la pista interior (normalmente entre 8 y 10 armónicos de la BPFI) modulados por bandas laterales a 1x RPM.

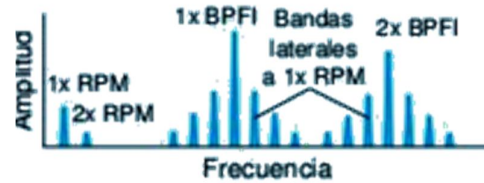


Figura 3. 38.- Defecto en la pista interior y escala, en rodamiento a causa de la vibración.

Defectos en bolas o rodillos. Se caracterizan por presentar en los espectros las frecuencias de deterioro de los elementos rodantes (BSF). En la mayoría de las ocasiones, el armónico de mayor amplitud nos suele indicar el número de bolas o rodillos deteriorados. Normalmente van acompañadas por defectos en pista.

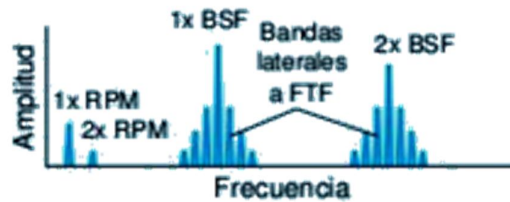


Figura 3. 39.- Defecto en bolas o rodillos y escala, en rodamiento a causa de la vibración.

Deterioro de jaula. Generalmente un defecto en jaula va acompañado por defectos en pistas y las FTF suelen modular a estas frecuencias de deterioro de pista como sumas y/o diferencias de frecuencias.

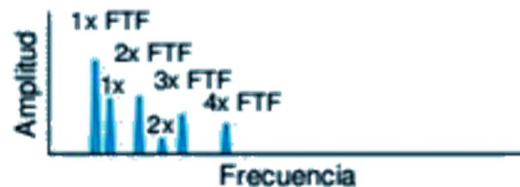
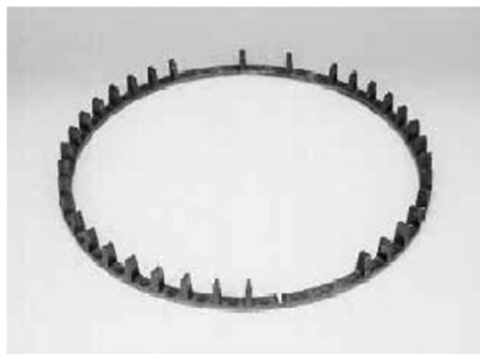


Figura 3. 40.- Defecto de jaula y escala, en rodamiento a causa de la vibración.

3.5.2. HOLGURAS.

Dependiendo del tipo:

- **Excesiva holgura interna en el rodamiento.** Suelen presentar una firma espectral caracterizada por la presencia de vibración síncrona (armónicos de la velocidad de giro), vibración subsíncrona ($0,5 \times \text{RPM}$) y no síncrona ($1,5 \times \text{RPM}$, $2,5 \times \text{RPM}$, $3,5 \times \text{RPM}$, etc.). A veces pueden ir moduladas por la FTF.
- **Holguras entre rodamiento y eje.** Aparecen varios armónicos de la frecuencia de giro y normalmente el múltiplo dominante es el $3 \times \text{RPM}$.
- **Holguras entre rodamiento y caja.** Presenta varios armónicos a la frecuencia de giro, destacando por su mayor amplitud los picos a $1 \times$ y $4 \times \text{RPM}$.

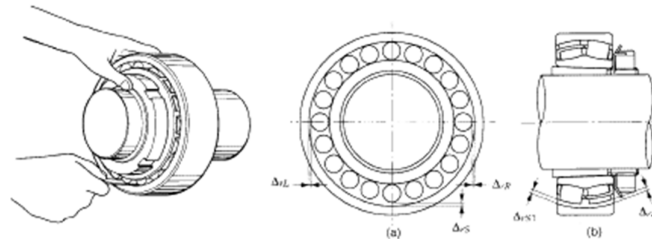


Figura 3. 41.- Medición de holgura.

Rodamientos desalineados. Como ya se ha comentado en el capítulo de desalineación, las firmas espectrales se caracterizan por la presencia de vibración a varios armónicos de la frecuencia de giro, destacando por su mayor amplitud el pico a $\text{NB} \cdot \text{RPM}$, siendo NB el número de elementos rodantes del rodamiento.



Figura 3. 42.- Rodamientos desalineados.

Inadecuada lubricación. Los problemas de lubricación se caracterizan por presentar vibración a alta frecuencia (entre 50.000 y 100.000 CPM) presentando bandas de picos distanciadas entre sí un rango de frecuencia variable entre 48.000 y 7.800 CPM, debidas a la excitación de las frecuencias de resonancia de los rodamientos que se encuentran en estas zonas de frecuencia.

3.6. FASES DE DETERIORO EN RODAMIENTOS.

Fase 1: En esta fase, el rodamiento se encuentra en perfecto estado con lo cual en el espectro sólo se aprecian la frecuencia de giro y posiblemente algunos de sus armónicos.

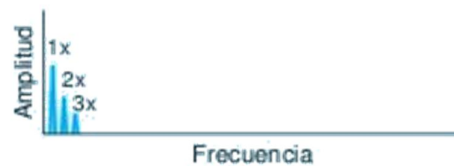


Figura 3. 43.- Espectro de frecuencia fase 1° del deterioro en rodamientos

Fase 2: Aparecen lecturas de vibración a alta frecuencia, las cuales constituyen el primer indicador del inicio del deterioro de un rodamiento. Dichas lecturas se deben a impactos, provocados por un pequeño defecto, que suelen excitar las frecuencias naturales de las pistas de rodadura a alta frecuencia. Estas medidas se realizan en el espectro de aceleración en una banda comprendida entre 1 kHz y 20 kHz.



Figura 3. 44.- Espectro de frecuencia fase 2° del deterioro en rodamientos

Fase 3: Aparecen las frecuencias características de defectos y sus armónicos. A medida que el daño progresa se incrementa la magnitud de los armónicos de las frecuencias de fallo y aumenta la aceleración a alta frecuencia. El seguimiento de su evolución nos permite planificar su cambio con la suficiente antelación.

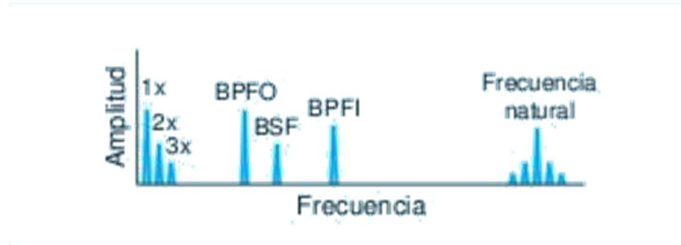


Figura 3. 45.- Espectro de frecuencia fase 3° del deterioro en rodamientos

Fase 4: Esta es la fase final del rodamiento. Cuando este se encuentra muy dañado aparecen síntomas similares a holguras y roces. Aparece además, ruido de fondo detectable en aceleración a alta frecuencia. Aumenta la amplitud de 1x RPM y sus armónicos y disminuyen o desaparecen las frecuencias de fallo enmascaradas en el ruido de fondo.

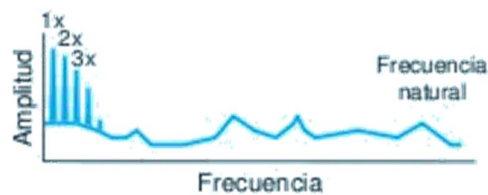


Figura 3. 46.- Espectro de frecuencia fase 4° del deterioro en rodamientos



3.6.1. BANDAS DE FRECUENCIA

La descomposición del valor global del espectro en bandas de frecuencia nos permite conocer de antemano las zonas en las que se suelen manifestar los problemas más típicos y nos ayudan a su identificación, incluso antes de llegar a visualizar el espectro en frecuencias y la onda en el tiempo. Para máquinas normales en las que se pretende controlar problemas a bajas y medias frecuencias (desequilibrios, desalineaciones, holguras, etc.) y a altas frecuencias (rodamientos) recomendamos utilizar las bandas de frecuencia indicadas en la tabla siguiente.

Parámetro espectral	A. Banda
Desequilibrio, desalineación, holguras, rozamientos y desgaste de correas.	0,3 a 1,5x RPM
Desalineación y holguras	1,5 a 2,5x RPM
Holguras, desalineación y BSF.	2,5x a 4,5x RPM

Figura 3. 47.- Tabla de bandas de frecuencias.

3.7. EL MANTENIMIENTO DE SISTEMAS MECÁNICOS

3.7.1. CONCEPTO DE MANTENIMIENTO.

La **meta más importante** de cualquier programa de mantenimiento es la eliminación de algún defecto de la maquinaria.

Muchas veces una avería grave causará daños serios periféricos a la máquina, incrementando los costos de reparación. Se intentará reducir al máximo las averías del sistema con una atención sistemática en el mantenimiento.

El **segundo propósito** del mantenimiento es de poder anticipar y planificar con precisión sus requerimientos. Eso quiere decir que se pueden reducir los inventarios de refacciones y que se puede eliminar la parte principal del trabajo en tiempo extra.



Figura 3. 48.- Técnico realizando verificaciones

El **tercer propósito** es de incrementar la disponibilidad para la producción de la planta, por medio de la reducción importante de la posibilidad de algún paro durante el funcionamiento de la planta, y de mantener la capacidad operacional del sistema

3.7.2. TIPOS DE MANTENIMIENTO.

Hay diferentes tipos de mantenimiento en función de multitud de parámetros tales como: su frecuencia, técnicas, profundidad, etc. De esta forma tenemos mantenimientos CORRECTIVOS, PREVENTIVO, EN USO, OVERHAUL, PREDECTIVO Y PROACTIVO.

Mantenimiento correctivo: En un principio, el mantenimiento quedaba relegado a intervenciones como consecuencia de las averías y con los consiguientes costes de reparación (mano de obra, piezas de repuesto,...), así como los relativos a los costes por las paradas de producción. Este tipo de mantenimiento se conoce como mantenimiento correctivo.

Mantenimiento preventivo: Las necesidades de mejora de los costes derivados de las bajas disponibilidades de la máquina y de las paradas de producción llevaron a los técnicos de mantenimiento a programar revisiones periódicas, para mantener las máquinas en el mejor estado posible y reducir su probabilidad de fallo. Pero esto supone un coste. ¿Hasta qué punto los períodos establecidos para las intervenciones de mantenimiento están sobredimensionadas? ¿Se pueden reducir los períodos de intervención sin consecuencias nefastas para las máquinas, abaratando de esta manera el coste del mantenimiento? Todas estas preguntas carecen de respuestas precisas y limitan la eficacia del mantenimiento.



Figura 3. 49.- Verificación diámetro eje turbofan..

Mantenimiento En Uso: es el mantenimiento básico de un equipo realizado por los usuarios del mismo. Consiste en una serie de tareas elementales (tomas de datos, inspecciones visuales, limpieza, lubricación, reapriete de tornillos) para las que no es necesario una gran formación, sino tal solo un entrenamiento breve. Este tipo de mantenimiento es la base del TPM (Total Productive Maintenance, Mantenimiento Productivo Total).

Mantenimiento Cero Horas (Overhaul): Es el conjunto de tareas cuyo objetivo es revisar los equipos a intervalos programados bien antes de que aparezca ningún fallo, bien cuando la fiabilidad del equipo ha disminuido apreciablemente de manera que resulta arriesgado hacer previsiones sobre su capacidad productiva. Dicha revisión consiste en dejar el equipo a Cero horas de funcionamiento, es decir, como si el equipo fuera nuevo. En estas revisiones se sustituyen o se reparan todos los elementos sometidos a desgaste. Se pretende asegurar, con gran probabilidad un tiempo de buen funcionamiento fijado de antemano.

Mantenimiento predictivo: Como consecuencia de las incertidumbres que presenta el mantenimiento preventivo y con el apoyo del desarrollo tecnológico, se desarrolló un nuevo concepto de mantenimiento basado en la condición o estado de la máquina. Este tipo de intervención se conoce como mantenimiento predictivo, y viene a suponer toda una revolución dada su filosofía de anticipación a la avería por medio del conocimiento del comportamiento de la máquina y de cómo debería comportarse, conociendo de este modo previamente qué elemento puede fallar y cuándo. Así se puede programar una intervención sin afectar al proceso productivo, con las consiguientes optimizaciones en costes de producción, mano de obra y repuestos. Se evitan de este modo grandes y costosas averías agilizando las intervenciones.



Figura 3. 50.- Mediciones mantenimiento predictivo.

Mantenimiento proactivo: Se ha desarrollado como complemento a la evolución del mantenimiento predictivo. Este concepto engloba los tipos de mantenimiento detallados anteriormente elevándolos a otra dimensión; el análisis de causas. El mantenimiento predictivo puede determinar si algún elemento de la máquina puede fallar, pero no estudia la causa raíz del fallo. El mantenimiento predictivo no responde a la causa por la cual un rodamiento falla repetidamente aunque si nos indique cuando puede fallar. Para cubrir esta incertidumbre, el mantenimiento proactivo o también conocido como fiabilidad de máquina analiza la causa raíz de la repetibilidad de la avería, resolviendo aspectos técnicos de las mismas.

3.7.2.1. Mantenimiento predictivo.

Las actuaciones con mantenimiento predictivo pasan por unos inconvenientes iniciales de elevados costes de inversión en tecnología y formación, con una rentabilidad de la misma a medio y largo plazo. Pero las ventajas son evidentes:

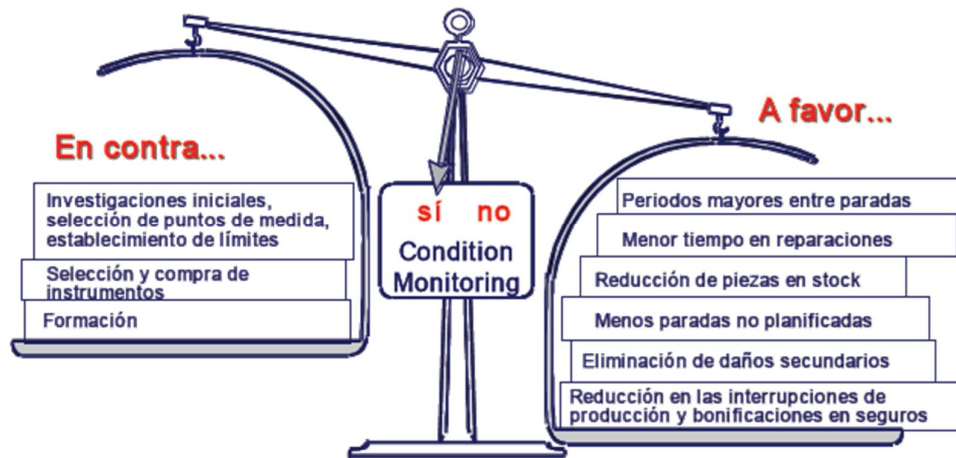


Figura 3. 51.-Cosas en contra y a favor del mantenimiento predictivo

Una aplicación más de las técnicas predictivas, no directamente relacionada con el mantenimiento, es su utilidad en la recepción de equipos, como verificación de su correcto funcionamiento o de la bondad de las reparaciones que se les hayan efectuado.

Son muchas y muy variadas las *tecnologías* que se pueden aplicar al campo del mantenimiento bajo condición, siendo el análisis de vibraciones una de las más importantes y empleadas de estas. Cada de estas tecnologías con un campo de aplicación más o menos concreto, existiendo complementariedad, prácticamente entre todas las existentes.

Una aplicación más de las técnicas predictivas, no directamente relacionada con el mantenimiento, es su utilidad en la recepción de equipos, como verificación de su correcto funcionamiento o de la bondad de las reparaciones que se les hayan efectuado.

Son muchas y muy variadas las tecnologías que se pueden aplicar al campo del mantenimiento bajo condición, siendo el análisis de vibraciones una de las más importantes y empleadas de estas. Cada de estas tecnologías con un campo de aplicación más o menos concreto, existiendo complementariedad, prácticamente entre todas las existentes.

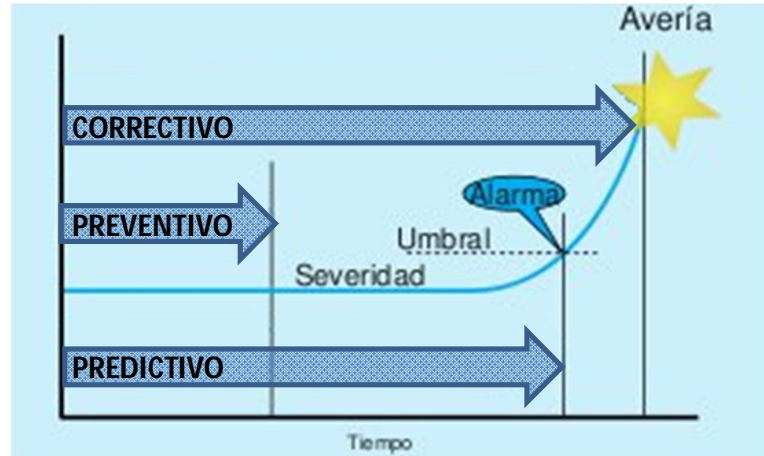


Figura 3. 52.- Horizontes tipos de mantenimiento

Gracias al estudio de la tendencia vibratoria y en función de los equipos objeto de este mantenimiento predictivo, podremos determinar unos valores que actúen de alerta y alarma, que marcan los puntos en los que han de hacer actuaciones en el equipo antes de producirse el fallo.

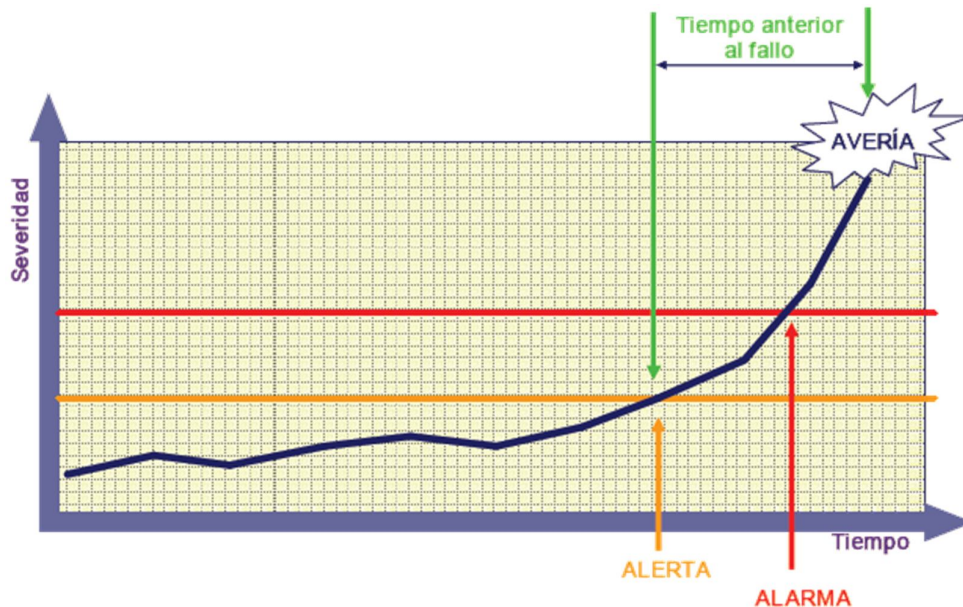


Figura 3. 53.- Grafica de asignación de alertas

A través de los límites de vibración admisibles, podremos orientarnos para la configuración inicial de las alarmas. En la tabla siguiente podemos obtener unos datos orientativos.

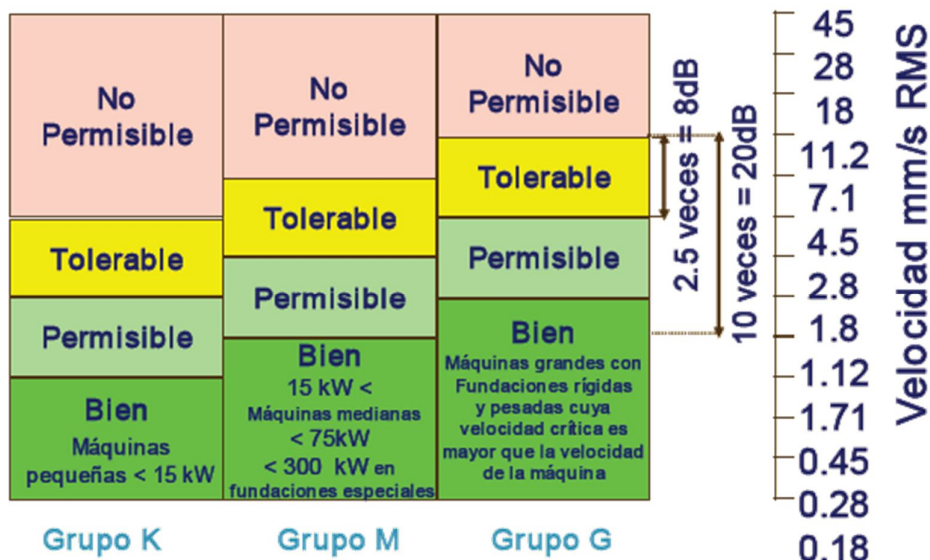


Figura 3. 54.- Valores orientativos para la colocación de alertas de mantenimiento.

Como podemos ver en la gráfica inferior estableceremos unos niveles de alarma acorde con el equipo a estudio, pero hay que recordar que estos valores son iniciales, y que se han de ajustar conforme se vaya conociendo mejor los equipos.

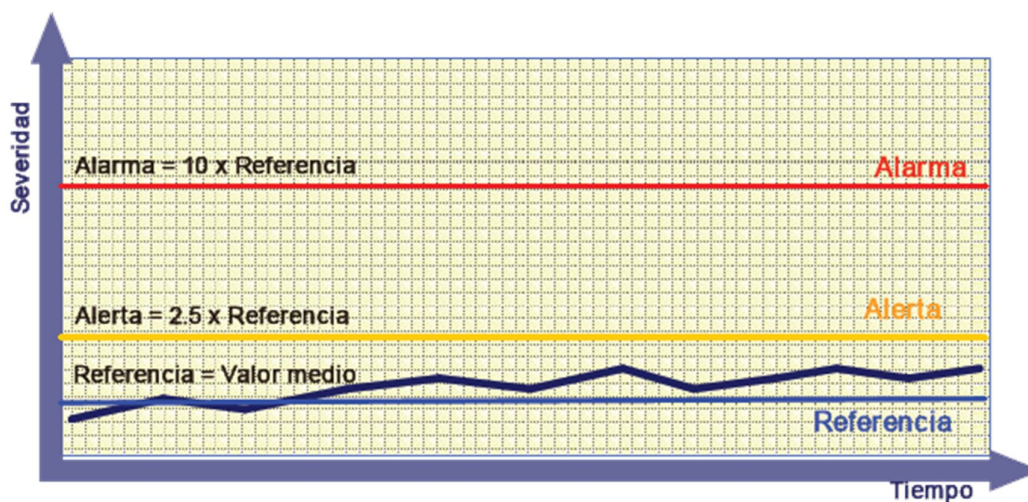


Figura 3. 55.- Gráfica con los valores medidos en y los niveles de alerta establecidos.



CAPITULO 4

4.EL BANCO DE ENSAYO



4.1. INTRODUCCIÓN

4.1.1. ¿QUÉ ES Y PARA QUÉ SIRVE?

Hablando de una forma genérica y sencilla, se trata de un banco de ensayos mecánico, denominado BR-2 que mide las vibraciones producidas durante el funcionamiento de rodamientos.

Su diseño, el cual detallaremos seguidamente a de asegurar que se puedan caracterizar el comportamiento vibratorio de diferentes tipos y tamaños de rodamientos, así como los diferentes defectos que pueden presentar.

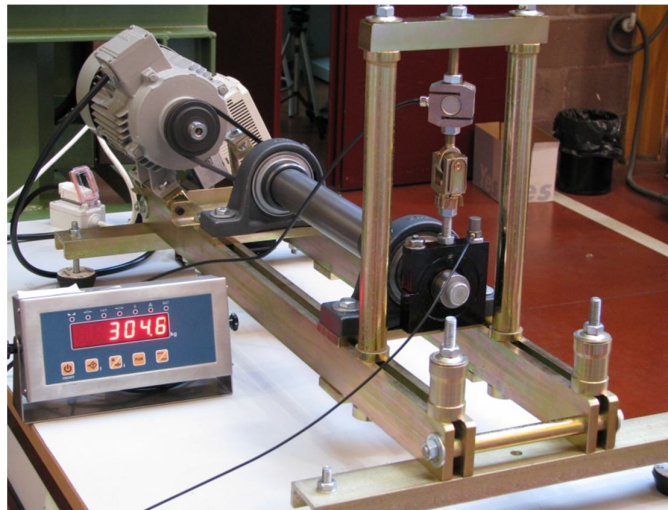


Figura 4. 1 Vista general del banco de ensayo.

4.1.2. CONDICIONES DE DISEÑO DE LOS BANCOS DE ENSAYOS

Para alcanzar los objetivos de cualquier trabajo de investigación en el campo de la ingeniería mecánica resulta imprescindible disponer de un banco de ensayos sobre el que experimentar los diferentes tipos de elementos mecánicos y su comportamiento.

Será fundamental poder simular sobre el banco diseñado, las condiciones de trabajo del elemento mecánico con la mayor aproximación a las de utilización en planta, para relacionar mejor las medidas realizadas con el elemento mecánico cuando está integrado en una máquina en funcionamiento, con aquellas que se obtengan en el laboratorio.

Cualquier defecto puede ser probado en un banco de ensayos pero, los presentes en rodamientos son unos de los más interesantes a controlar en un equipo mecánico, ya que se trata de uno de los elementos más solicitados de manera constante y críticos en el funcionamiento del mismo.

La elección de los rodamientos como los elementos objeto de este estudio, entre otras, viene determinado por las siguientes razones:

- La complejidad del elemento.
- Las múltiples y diferentes posibilidades de fallo que presenta.
- Es el elemento mecánico de más presencia en las máquinas rotativas.
- Es el elemento de las máquinas, junto con el cojinete de fricción, que canaliza los esfuerzos dinámicos.
- En la mayor parte de las industrias es el punto clave de control en cualquier programa de mantenimiento.
- El amplio conjunto de normas que regulan su fabricación hace que sean perfectamente intercambiables, independientemente de su marca o procedencia.
- Son de fácil adquisición precisamente por su universalidad.

Las características más relevantes que se tuvieron en cuenta a la hora de diseñar el banco de ensayos fueron las que a continuación se señalan.

1. Posibilidad de reproducir las diversas características de trabajo de los rodamientos que se estudien. Para ello, se contará con un sistema de actuación que permita aplicar carga sobre el rodamiento, de forma regulada, tanto axial como radialmente o una combinación de ambas.
2. Sencillez y fiabilidad en la regulación de los esfuerzos que se apliquen al rodamiento que se estudie.
3. El banco deberá contar con la posibilidad de regular adecuadamente y con precisión la velocidad de giro, manteniendo en cada régimen de vueltas seleccionado la adecuada estabilidad.
4. Que el propio diseño del alojamiento del rodamiento permita su montaje y desmontaje con facilidad.
5. Un sistema de medida sencillo y fiable que aporte información sobre el régimen de giro, las cargas o las vibraciones del sistema.
6. La posibilidad de incorporar otros elementos mecánicos al sistema.

Se diseñaron dos bancos de ensayos destinados a la diagnosis del estado de los rodamientos a ensayar, BR-1 y BR-2 que es el que no ocupa. Se pretende que sean aptos para hacer un estudio de los aspectos de montaje que influyen en ciertos parámetros de los rodamientos y ensayar los diferentes tipos y tamaños de rodamientos.

Los bancos están soportados por estructuras compuestas de perfiles de acero ensamblados, de forma que aporten la adecuada rigidez. La transmisión de potencia del motor al eje del banco de ensayos se puede realizar por acoplamiento directo o por correa.

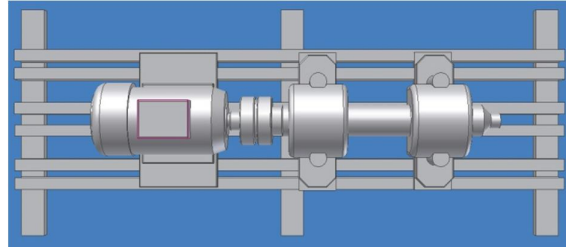


Figura 4. 2 Diseño preliminar de banco de ensayo.

La idea de estos bancos es que sean **modulares**, es decir, que el banco propiamente es solo la estructura base, dos soportes de rodamiento con el árbol y los elementos de fijación del sistema de carga y alimentación. El sistema de accionamiento (motor, variador de velocidad y acoplamiento o transmisor), el sistema de carga y el sistema de medida son portátiles.

La estructura de los bancos está diseñada de tal forma que posee una rigidez aceptable, unos coeficientes elevados de amortiguamiento y unas frecuencias propias alejadas de las frecuencias de defecto esperadas, ya sea desequilibrios, desalineaciones, fallos en los rodamientos estudiados, etc.

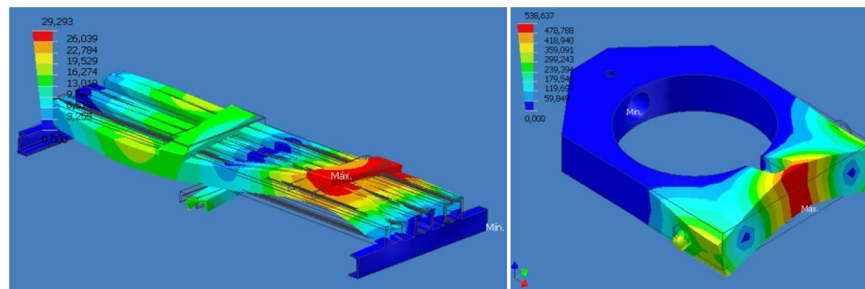


Figura 4. 3 Ensayo elementos finitos de bancada y brida preliminares.

Primeramente, se diseñó un banco de ensayos de rodamientos de uso general BR-1 para probar rodamientos con un diámetro de agujero de 10 mm a 160 mm., con los adaptadores adecuados. Se implementó el modelo de banco de ensayos en elementos finitos y se comprobó, para diferentes situaciones, mediante un análisis modal que, tanto la estructura como el alojamiento del rodamiento o brida presentan frecuencias naturales alejadas de las que pueden presentar dudas durante el análisis de las vibraciones generadas por fallos en varios tipos de rodamientos.

Tras la fabricación del primero de los bancos de ensayo (BR-1) se verificó su buen comportamiento para rodamientos grandes, sin embargo no era así con los de tamaño inferior a 50 mm, debido al tamaño de los rodamientos de los soportes, originaban vibraciones propias que camuflaban las originadas en los rodamientos a ensayar.

Atendiendo a estas dificultades y teniendo en cuenta que este tamaño de rodamiento son los más empleados en la investigación, por se muy extendidos y tener una mayor facilidad de manejo, se optó por el diseño y fabricación del banco de ensayos BR-2, que es como hemos dicho el que nos ocupa y que se puede ver sus características y descripción detallada más adelante.

4.1.3. OTROS EJEMPLOS DE BANCO DE ENSAYOS

Este modelo no es ni mucho menos el único válido para realizar ensayos de este tipo, así podemos tener bancos con actuadores neumáticos para proporcionar la carga, como el perteneciente a la UNED que se muestra aquí.

En la figura siguiente podemos ver una fotografía y un esquema con los elementos que lo componen. El hecho de emplear actuadores neumáticos, tiene la ventaja de una mayor automatización de los ensayos, por el contra, limita su movilidad debido a la necesidad de tener una fuente de aire comprimido a además de conllevar un mayor mantenimiento del banco.

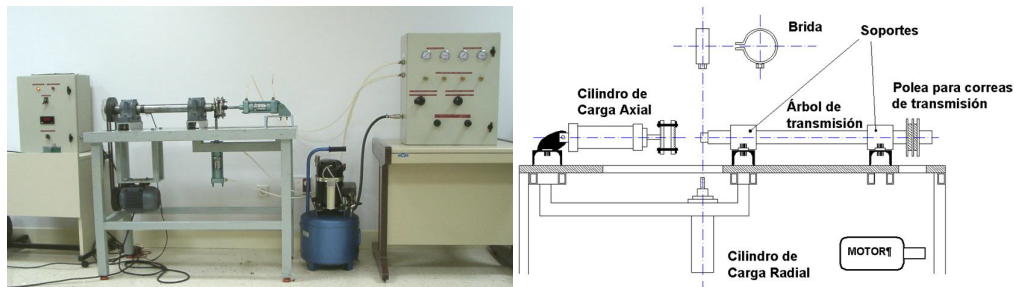


Figura 4. 4 Banco de ensayos neumático UNED.

También hay bancos con múltiples elementos mecánicos, que reproducen a escala un reductor industrial real, como el banco perteneciente a Endesa que se muestra en la siguiente figura.

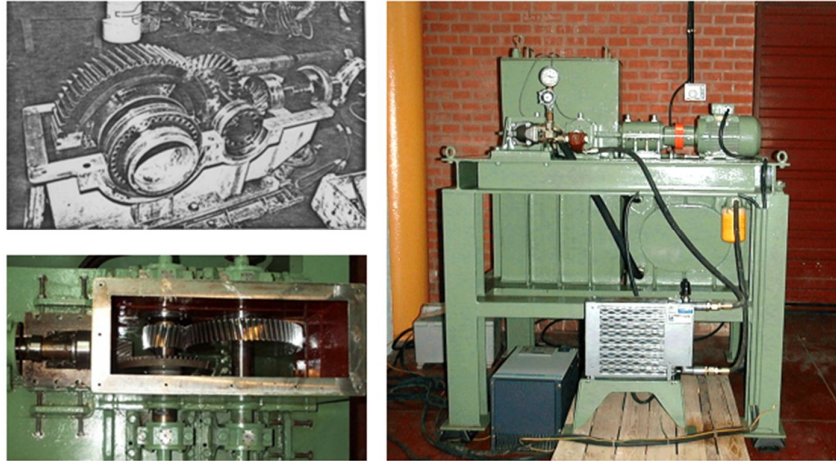


Figura 4. 5 Banco de ensayos Endesa.

Es un banco robusto y muy “cercano a la realidad industrial”, pero por ende pesado y de muy difícil traslado. Su flexibilidad tampoco es demasiado buena ya que no es modular por lo que las modificaciones en el mismo son más difíciles de acometer.

Otros bancos mucho más sofisticados y grandes tienen también el problema de la movilidad como por ejemplo el banco que aparece en la siguiente figura.

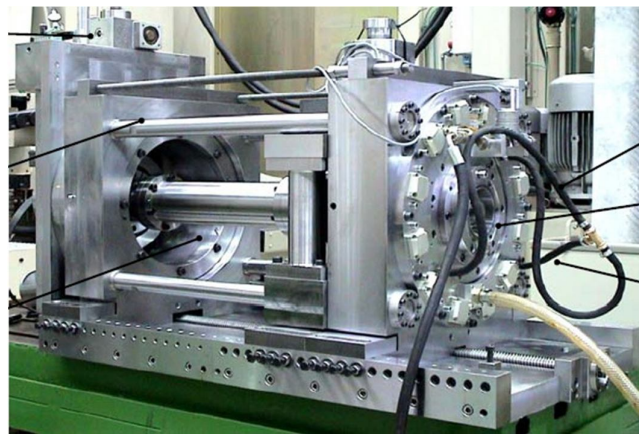


Figura 4. 6 Banco de ensayos avanzado.

4.2. DESCRIPCIÓN DE LOS SUBSISTEMAS DEL BANCO.

4.2.1. EL SUBSISTEMA MOTOR

El banco de ensayos BR-2 dispone de un módulo portátil consistente en un motor eléctrico trifásico y de un variador electrónico de velocidad (que efectúa la regulación de la velocidad del motor).



Figura 4. 7 Módulo de accionamiento del banco de ensayos de rodamientos BR-2.

El banco de ensayos BR-2 dispone de un módulo portátil (Fig. 8) consistente en un motor eléctrico trifásico (encargado del accionamiento del eje sobre el que se sitúa el rodamiento a estudiar) y de un variador electrónico de velocidad (que efectúa la regulación de la velocidad del motor). Se prefirió este sistema, frente a los variadores mecánicos, por su sencillez de control así como por la mayor precisión en la velocidad requerida.

El motor del banco de ensayos es un motor trifásico comercial Siemens de 1,5 kW., rotor en cortocircuito, de 4 polos y 50 Hz. con una velocidad nominal de 1420 r.p.m., cuya velocidad es regulada variando la frecuencia de giro. El par nominal es de 5,23 Nm.

El variador de velocidad es de la firma comercial TOSHIBA, modelo VFNC15, para una tensión de alimentación monofásica de 230 V., con salida a motor de 1,5 kW de 3 x 230 V. y con las correspondientes protecciones internas a cortocircuitos en la salida, fugas a tierra y tensión de red excesiva o transitorios. Dispone de dispositivos de regulación y control de la aceleración y deceleración que son controlados en función de la inercia, llegando a parar si la sobretensión que se produce es excesiva. La frecuencia de la corriente de salida puede modificarse de 0 a 100 Hz. consiguiendo la correspondiente variación de velocidad, alcanzándose velocidades en el motor próximas a las 3000 r.p.m.

4.2.2. EL SUBSISTEMA DE TRANSMISIÓN

Los soportes del árbol consisten en rodamientos de bolas, con un tamaño del agujero (y del árbol) de 55 mm

El sistema de transmisión de movimiento del motor al árbol es una transmisión elástica mediante una correa trapezoidal, que minimiza la transmisión de vibraciones desde el motor

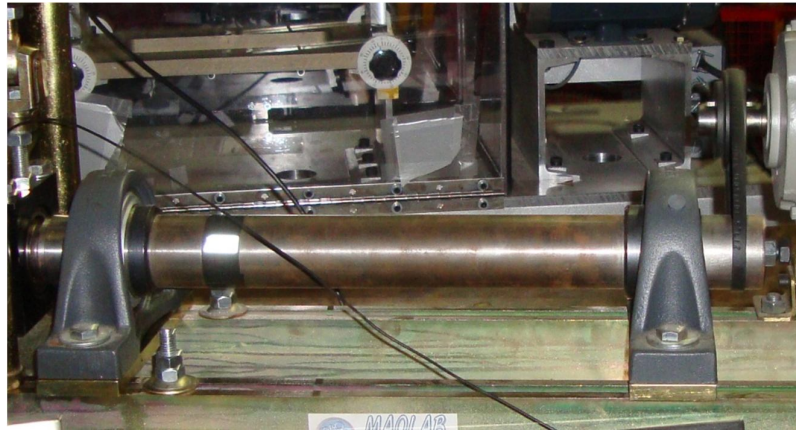


Figura 4. 8 Sistema transmisión banco.

Para el sistema de transmisión se insertó una polea en el eje del motor y se mecanizó directamente el canal en el árbol. Jugando con el tamaño de la polea del motor se podían conseguir relaciones de transmisión más elevadas.

4.2.3. EL SUBSISTEMA ESTRUCTURAL

Se trata de una estructura de máxima sencillez, compuesta de perfiles de acero ensamblados. Esta estructura está diseñada de tal forma que posee una rigidez aceptable, unos coeficientes elevados de amortiguamiento y unas frecuencias propias alejadas de las frecuencias de defecto esperadas, ya sea desequilibrios, desalineaciones, fallos en los rodamientos estudiados, etc.

4.2.4. SUBSISTEMA DE CARGA

El sistema de actuación de la carga sobre el rodamiento se efectúa por medio de dos husillos que actúan radial y axialmente. El control de la carga sobre el rodamiento se realiza mediante dos células de carga con sus respectivos visores.

La regulación se realiza girando el husillo manualmente hasta que el visor indique la carga apropiada al ensayo que se desea realizar.

Se utilizan células de carga con un rango de medidas adecuado para asegurar la precisión adecuada. La célula de carga tiene un rango de carga de 0-1000 Kg. El visor incorpora salida de datos para el ordenador.

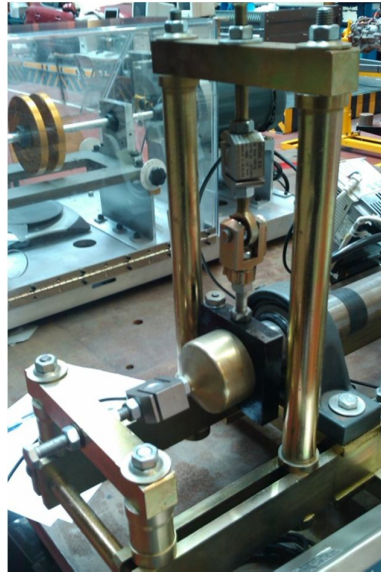


Figura 4. 9 Vista general de subsistema de carga.

Para evitar que la pista interna del rodamiento deslice sobre la superficie del eje, se ha dispuesto un sistema de fijación mediante un casquillo y un tornillo.

La brida para alojar el rodamiento se diseñó de forma que pueda cambiarse el rodamiento sin grandes esfuerzos y sin necesidad de tener que utilizar herramientas especiales como extractores.



Figura 4. 10 Brida sujeción rodamientos.



Figura 4. 11 Display de carga.

Las frecuencias propias de vibración de la brida, se diseñaron de forma que estas no se encuentren próximas a las frecuencias de defecto esperadas en los rodamientos.

4.2.5. SUBSISTEMA DE MEDIDA

Este subsistema se compone de una serie de equipos particulares, pero también implica a otros elementos incluidos en otros subsistemas, aquí se muestra la composición y disposición de los equipos de medida y control necesarios para realizar los ensayos experimentales con los rodamientos y registrar la señal de vibración para un análisis posterior.

- Acelerómetro.
- Amplificador de señal.
- Tarjeta de adquisición de datos.
- Tacómetro.
- Cableado
- Ordenador + software de análisis.

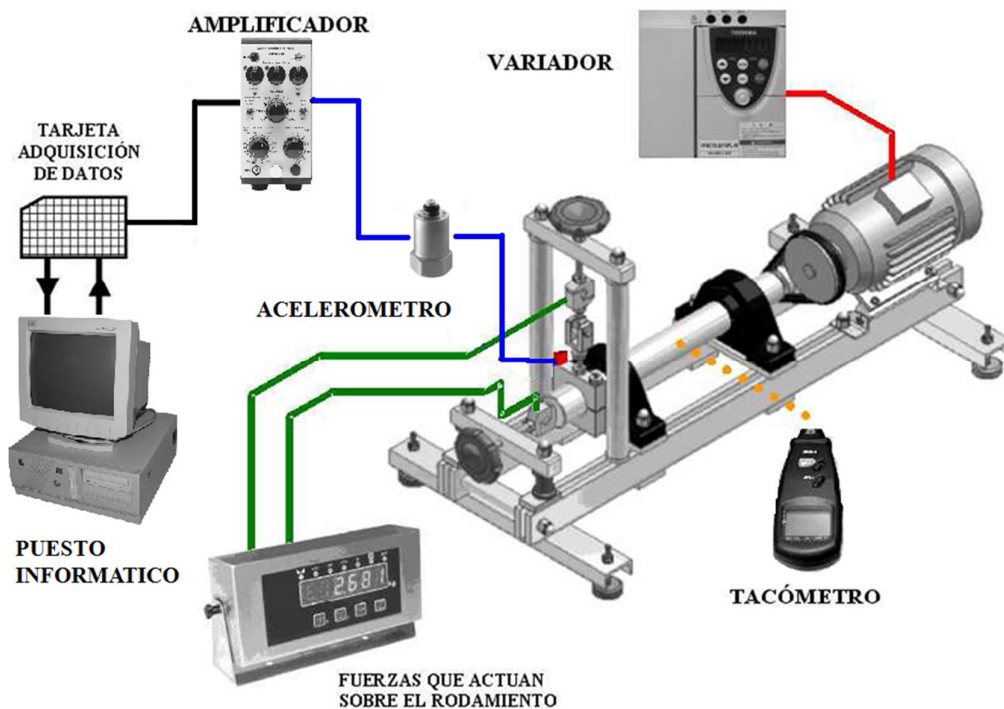


Figura 4. 12 Esquema general de conexión de equipos de medida.

4.2.5.1. Acelerómetro.

El acelerómetro empleado para registrar las vibraciones es del tipo piezoeléctrico, ya que presenta una menor sensibilidad a las interferencias electromagnéticas. El modelo que se utilizó fue de la Brüel&Kjær, cuyas características principales son:

- Modelo: 4382
- N° serie: 1363439
- Sensibilidad de referencia: $3,17 \text{ pc/ms}^{-2}$
- Sensibilidad transversal: 2.2%
- Frecuencia de resonancia: 27KHz
- Frecuencia de resonancia transversal: 10KHz
- Máxima acción de choque- 20000 m/s^2

La fijación que se utilizó fue mediante una base magnética ya que presenta mayor sencillez en su montaje, pero presentaba el inconveniente de limitar el rango de medida hasta una frecuencia de 3-5 kHz, suficiente para este tipo de medición.



Figura 4. 13 Acelerómetro.

Para la correcta captación de la señal vibratoria se tuvieron en cuenta las siguientes consideraciones: La colocación del acelerómetro se debe realizar en una zona limpia y sin rugosidades, de modo que no existan espacios libres entre la superficie del transductor y la superficie del punto de medida. Es aconsejable limpiar periódicamente la base del soporte magnético para evitar la presencia de suciedad que pueda distorsionar la medida.

La limpieza del conector del acelerómetro y del cable, es fundamental para una correcta medida.

Hay que asegurarse de que el soporte magnético está correctamente apretado al acelerómetro para evitar posibles movimientos relativos entre el citado soporte y el acelerómetro.

No deben presentarse dobleces a lo largo de toda la longitud del cable porque se podría llegar a alterar su resistencia y falsear la medida, por el mismo motivo, es importante que el apantallamiento del cable no sufra roces o esté deteriorado.

4.2.5.2. Amplificador de señal

El amplificador de carga empleado para amplificar la señal captada por el acelerómetro, es el modelo 2635 de brüel&kjaer (Figura 4.6), con un rango de frecuencias que abarca desde 0.1 Hz. hasta 200 kHz.

Este amplificador está compuesto por cuatro etapas:

1. *Amplificador de señal.* Etapa diseñada especialmente para evitar la recalibración del sistema cuando se varía la longitud de los cables hasta el captador.
2. *Amplificador con filtro de paso bajo.* Esta etapa dispone de ajuste de ganancia en el amplificador de entrada y el integrador y de una serie de filtros de paso bajo, con unas características de corte de 12dB/octava, lo que permite eliminar las señales fuera del margen de frecuencias a estudiar.
3. *Amplificador integrador.* Esta etapa permite elegir entre los tres diferentes modos de operación (aceleración, velocidad o desplazamiento). Además de realizar su función integradora efectúa el filtrado de paso alto adecuado para evitar el ruido de baja frecuencia.
4. *Amplificador de salida.* Esta última etapa facilita un ajuste muy fino de la sensibilidad (de 0,1 a 11 pC), lo que permite una calibración y posterior lectura de las medidas muy simple. El ruido de fondo intrínseco del amplificador brüel&kjaer 2635 es de 0,005 pC referido a un transductor con una capacidad de 1 nF y puesto el amplificador a la máxima sensibilidad.



Figura 4. 14 Amplificador

4.2.5.3. Tarjeta de adquisición de datos.

Para captar las medidas de vibraciones se empleó una tarjeta digitalizadora multicanal que transforma las señales analógicas en señales digitales o discretas. El rango de frecuencias del sistema de adquisición de datos abarca desde 0'1 Hz. hasta 1 MHz.

El paquete informático de adquisición de datos está constituido por:

- Tarjeta DAS-1200 Series Board, de la marca Keithley, de 8 canales.
- Caja de conexiones multicanal STP-37.
- Bus Keithley que permite la unión de la tarjeta con la computadora.



Figura 4. 15 Tarjeta de adquisición de datos.

4.2.5.4. Puesto informático y software

Para el registro de la señal vibratoria, una vez que la tarjeta digitalizadora ha transformado la señal analógica en señal discreta y con la ayuda del software que complementa y gestiona la tarjeta: el programa Test Point que permite controlar la tarjeta digitalizadora y almacena los ficheros de datos, en formato ASCII, resultado de la digitalización de la señal de vibración.

En el ordenador se desarrollaron una serie de rutinas en el entorno MATLAB para aplicar las técnicas antes citadas, de forma rápida y sencilla, a partir de algoritmos originales y otros ya conocidos. Así se generarán gráficos e informes que nos permitirán analizar la señal de vibración.

La visualización en tiempo real se realiza a través del puerto serie del ordenador, utilizando el software Agilent BenchLink Data Logger.

El programa informático que se encarga de la adquisición y gestión de los datos es el Test Point 7.0, desarrollado por la compañía Bently. Las señales quedan registradas en ficheros de datos en formato ASCII.

4.2.5.5. Tacómetro

Utilizamos un tacómetro encargado de registrar a través del adecuado captador, la velocidad del eje del banco en todo momento.



Figura 4. 16 Tacómetro.

4.2.5.6. Cableado

El cableado de todos los elementos es el que recomiendan los fabricantes de instrumentos para el correcto registro de la señal de vibración y temperaturas, utilizando los apantallamientos convenientemente y evitando las interferencias por lazos de tierra y el ruido tribológico.

4.3. ENSAYOS EN EL BANCO

4.3.1. DISEÑO DE LOS ENSAYOS

El diseño de los ensayos que se van a realizar, es algo mucho más importante de lo que en un primer momento pueda parecer. En cualquier tipo de ensayo sea cual sea el campo de aplicación genera una ingente cantidad de datos, su correcta denominación, almacenamiento, organización, etc. facilitará el posterior proceso de análisis.

De igual modo en la mayoría de los casos los equipos empleados tienen un coste muy elevado, al igual que las horas de trabajo del personal de investigación, una correcta planificación de los trabajos a realizar aumenta la eficiencia de los activos materiales y humanos intervinientes en los trabajos.

Adicionalmente la reflexión sobre la metodología de trabajo que se va a seguir en el posterior trabajo de campo, ayuda a detectar posibles necesidades y/o problemas que puedan llegar a surgir en los posteriores trabajos de campo, pudiéndose paliar o incluso llegar a evitar.

4.3.1.1. Selección de Rodamientos

Vamos a mostrar un ejemplo de diseño de ensayo, el primer paso es la selección del rodamiento a ensayar, en este caso se han usado rodamientos de bolas del tipo **SKF 6206**. Para tomar esta decisión se han tenido en cuenta los siguientes criterios:

- ✓ Uso muy extendido.
- ✓ Presenta un fácil despiece.
- ✓ Tiene un tamaño adecuado.
- ✓ La geometría es compleja: se manifiestan todos los fenómenos característicos de este elemento mecánico.

Esta elección es solo a modo de ejemplo y tal y como hemos dicho con anterioridad, el banco tiene la suficiente flexibilidad funcional, como para ensayar con gran variedad de tipos de rodamientos sin tener que realizar modificaciones en el mismo.

4.3.1.2. Generación de defectos

Para poder caracterizar defectos en los rodamientos se realizaron diferentes tipos de defectos en los rodamientos para poder ver su comportamiento vibratorio.

El proceso seguido para proporcionarles el defecto a los rodamientos fue el siguiente:

1. Se identifica el rodamiento.
2. Se desmonta el rodamiento.
3. Se selecciona el elemento a deteriorar.
4. Se fija el elemento a la mesa de trabajo con una mordaza.
5. Se le proporciona el defecto al elemento.
6. Se desengancha el elemento de la mordaza.
7. Se vuelve a montar el rodamiento.

- **Defecto en la pista de rodadura:**

- Se efectúa una marca pequeña sobre la pista
- Se mide la distancia a desbastar
- Se realiza una segunda marca
- Se desbasta toda el área de rodadura comprendida entre las dos marcas, asegurando que las bolas pasan a lo largo de toda la longitud del defecto.

Los rodamientos con fallo en la pista interior tendrán defectos variables en extensión (1, 2, 5 y 10 mm.) y severidad:

- **DEFECTO LEVE:** de poca profundidad, equiparable a un desconchado superficial.
- **DEFECTO GRAVE:** más severo que el caso anterior, asegurando un defecto más profundo e irregular en su extensión, emulando un desconchado avanzado.

- **Defecto en la pista de rodadura:**

- Se producen arañazos por toda la superficie de una de las bolas.
- Se desbasta un área localizada de una de las bolas.



Figura 4. 17 Ejemplo de generación de defectos en rodamientos.

4.3.1.3. Detalle Ensayos

Dependiendo del tipo de defecto que presenta el rodamiento los parámetros del ensayo variaran, así si como los ensayos a realizar, en función de la experiencia variaremos o mantendremos fijas la velocidad, la carga etc. Así en este ejemplo tendremos:

- **Ensayos con defecto en el anillo interior.**
 - ✓ Defecto leve de tamaño variable. Velocidad y carga fija.
 - ✓ Carga axial y radial variable. Velocidad fija y defecto leve de tamaño fijo.
 - ✓ Defecto de tamaño variable y velocidad variable. Carga fija y severidad variable.
- **Ensayos con defecto en el anillo exterior.**
 - ✓ Localización del defecto variable respecto a la zona de carga. Defecto leve de tamaño fijo, carga fija y velocidad variable
- **Ensayos con defecto en una bola.**
 - ✓ Dos tipos de defecto: arañazos y defecto local en una bola. Carga fija y velocidad variable.

4.3.1.4. Codificación.

Como ya hemos comentado es de vital importancia emplear una adecuada codificación, que contenga, de forma clara y lo más sencilla posible, toda la información que identifique de forma inequívoca los ensayos y toda la información derivada de este.

Para nombrar los diferentes archivos contenidos de los ensayos utilizamos una nomenclatura compuesta por un sistema de ocho dígitos.

El primer dígito “E” corresponde a experimental, el cuarto dígito “N” corresponde a un rodamiento de 9 bolas y el séptimo dígito puede ser “S”, “I” u “O”; siendo “S” un rodamiento nuevo sin defecto, “I” un rodamiento con defecto en el aro interno y “O” un rodamiento con un defecto en el aro externo.

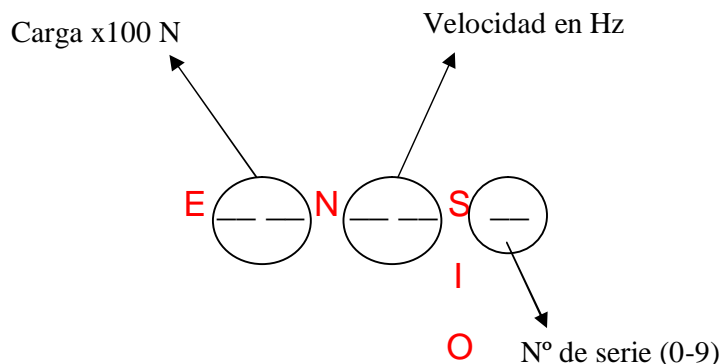


Figura 4. 18 Ejemplo de codificación.

Así, por ejemplo, para nombrar el archivo de datos correspondiente al tercer ensayo del rodamiento con 9 bolas soportando una carga radial de 1000 Newton, con defecto en el anillo externo y con una velocidad de giro del anillo interno de 2400 rpm, sería la siguiente:

E10N40E3.txt

Para la realización de nuestro estudio se deben obtener las frecuencias que cabe esperar según el tipo de defecto que tenga el rodamiento ensayado, que se calculan según las fórmulas ya expuestas. Además, si se supone que la frecuencia de giro del anillo interior es de ϖ_{in} Hz. (y el anillo exterior es fijo), las frecuencias de defecto para el rodamiento SKF 6206, considerando situaciones ideales, y los datos siguientes, serán:

Número de bolas $Z=9$

Ángulo de contacto $\alpha = 0^\circ$

Diámetro de las bolas $d_{b0} = 9.5$ mm.

Diámetro medio $d_m = 46$ mm.

4.3.1.5. Cálculos previos

Para la realización de nuestro estudio se deben obtener las frecuencias que cabe esperar según el tipo de defecto que tenga el rodamiento ensayado, que se calculan según las fórmulas ya expuestas. Además, si se supone que la frecuencia de giro del anillo interior es de ϖ_{in} Hz. (y el anillo exterior es fijo), las frecuencias de defecto para el rodamiento SKF 6206, considerando situaciones ideales, y los datos siguientes, serán:

- Número de bolas $Z=9$
- Ángulo de contacto $\alpha = 0^\circ$
- Diámetro de las bolas $d_{b0} = 9.5$ mm.
- Diámetro medio $d_m = 46$ mm.
- Frecuencia de defecto en anillo externo

$$BPFO = \frac{Z \cdot \varpi_{in}}{2} \cdot \left(1 - \frac{d_{b0} \cdot \cos(\alpha)}{d_m} \right) = \frac{9 \cdot \varpi_{in}}{2} \cdot \left(1 - \frac{9.5 \cdot \cos(0^\circ)}{46} \right) = \frac{657}{184} \cdot \varpi_{in} \text{ Hz}$$

- Frecuencia de defecto en anillo interno

$$BPFI = \frac{Z \cdot \varpi_{in}}{2} \cdot \left(1 + \frac{d_{b0} \cdot \cos(\alpha)}{d_m} \right) = \frac{9 \cdot \varpi_{in}}{2} \cdot \left(1 + \frac{9.5 \cdot \cos(0^\circ)}{46} \right) = \frac{999}{184} \cdot \varpi_{in} \text{ Hz}$$

- Frecuencia de defecto en bola

$$BPF = \frac{Z \cdot \varpi_{in}}{2} \cdot \left[1 - \left(\frac{d_{b0} \cdot \cos(\alpha)}{d_m} \right)^2 \right] = \frac{9 \cdot \varpi_{in}}{2} \cdot \left[1 - \left(\frac{9.5 \cdot \cos(0^\circ)}{46} \right)^2 \right] = 4.31 \cdot \varpi_{in} \text{ Hz}$$

En la siguiente tabla se muestran los armónicos esperados en los espectros correspondientes al rodamiento con defecto en el anillo interno y externo.

FRECUENCIAS DE DEFECTO	FRECUENCIA DE GIRO DEL ANILLO INTERIOR				
	5 Hz	10 Hz	20 Hz	30 Hz	40 Hz
BPFO (Hz)	17,85	35,70	71,41	107,12	142,83
BPFI (Hz)	27,15	54,30	108,60	162,88	217,17
BPF (Hz)	21,54	43,10	86,16	129,24	172,32

Figura 4. 19 Tabla ejemplo de cálculos previstos previamente a los ensayos.

4.4. MODELADO BANCO DE ENSAYOS

Con el fin de conseguir un modelo virtual que permita realizar análisis de todo tipo sobre el banco, sin necesidad de actuar directamente sobre, permitiendo en un futuro poder realizar cualquier modificación, probarla y valorar su aplicación o no en el banco real, se ha realizado un modelado realista del banco de ensayo en el software de CAD/CAM/CAE *Pro Engineer Wildfire 5* (Creo parametrics).

4.4.1. CARACTERÍSTICAS. PRO ENGINEER WILDFIRE5.

Pro Engineer Wildfire 5 es una solución integrada para 3D CAD / CAE / CAM, es un software de la compañía Parametric Technology Corporation(PTC), que ofrece a los usuarios con nuevas oportunidades para superar las barreras tradicionales en el proceso de diseño, haciendo que el proceso de desarrollo aún más rápido, más eficiente e innovadora. Sus competidores directos son directos NX y CATIA, SolidWorks, Inventor y SolidEdge. Es una herramienta CAD integrada, es decir, que mezcla módulos de diseño puro y la capacidad de realizar cálculos de diseño, animación, cinemática, etc.

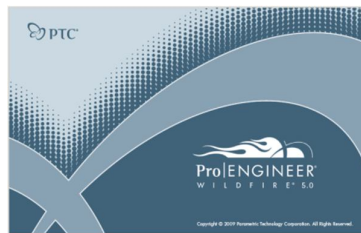


Figura 4. 20 Imagen pantalla de inicio Pro Engineer Wildfire 5.

Pro / ENGINEER Wildfire es un completo 3D CAD / CAE / CAM para el desarrollo de productos de cualquier complejidad. Gracias a las capacidades de automatización de gran alcance, es una solución muy empleada para el diseño 3D, ingeniería, modelado y desarrollo de productos de aplicación comercial directa. Pro / ENGINEER - no es solo una herramienta para la visualización de soluciones, si no que primero y ante todo, es una herramienta para la búsqueda de soluciones de ingeniería. Las amplias capacidades del sistema permiten a los ingenieros desarrollar productos de acuerdo con las necesidades del cliente, en lugar de las limitaciones del software. Un breve resumen de las principales características de Pro ENGINEER Wildfire

- Sólidos y modelado de superficies
- Análisis de la geometría y las características de inercia de masa de piezas y ensamblajes. Traductores de IGES, STEP, Parasolid, DWG de Auto CAD, DXF, STEP, SET, VDA, NEUTRAL, PATRAIN, SLA, STL, CGM, TIFF, RENDER, inventor, VRML, CATIA, PDGS, CADAM.
- Asociación de datos de formatos CADD5 Apoyo, Pro / Desktop, ECCD, ICEM, convertidor de Patran, Nastran, ANSYS.

4.4.1.1. MODELADO DE SÓLIDOS. SISTEMAS PARAMÉTRICOS

Ya que la fase de CAD desempeña un papel tan importante, es necesario que la aplicación que utilicemos sea lo suficientemente flexible, para cumplir lo mejor posible con todo lo dicho anteriormente. Teniendo esto en cuenta, se requerirá una aplicación que nos permita modelar piezas o conjuntos en 3D. El uso de aplicaciones de modelado de sólidos está siendo cada vez más extendido, y cada vez son más los fabricantes que están implementando técnicas de modelado de sólidos en los sistemas de CAD.

La tendencia de la mayoría de las empresas es de implementar este tipo de aplicaciones, frente a las clásicas herramientas 2D. A pesar de todo, aun se seguirán utilizando herramientas 2D, ya que el costo de una aplicación de modelado de sólidos no está al alcance de todas las empresas.

Una gran ventaja de las aplicaciones de modelado de sólidos es que estas son paramétricas. Es decir, la geometría está totalmente basada en parámetros (o dimensiones). Al variar el valor de uno de estos parámetros podremos variar fácilmente la geometría del modelo asociado a ese parámetro. Esto requiere que el modelo este correctamente parametrizado. Esto es muy importante, ya que como hemos comentado anteriormente, una modificación en el modelo puede llegar a ser en ocasiones algo traumático, si este no estuviese convenientemente parametrizado. Por tanto la parametrización confiere flexibilidad al modelo. Dependerá de nosotros el que esto sea así.

Hay que tener presente que las herramientas de CAD son meras herramientas de dibujo (no podemos pretender convertimos en buenos escritores por el hecho de disponer de la mejor aplicación de tratamiento de textos). Por lo cual, antes de proceder con el diseño es necesario tener claro que es lo que queremos conseguir, saber cuales son las especificaciones de partida, conocer cuantas piezas tendrá nuestro conjunto y como se conectan entre ellas, métodos de fabricación, etc ... Es necesario conocer con que recursos contamos, es decir, conocer las funcionalidades de nuestra aplicación de CAD.

El **modelado de sólidos** consiste en ir construyendo el sólido, a base de ir combinando de modo secuencial distintas funciones. Cada una de estas funciones queda registrada en el 'árbol del modelo', de modo que si deseamos modificar algo una vez finalizado el modelo, bastara con dirigirse a la función que deseamos modificar y cambiar el valor del parámetro (o dimensión) que nos interesa.



Por lo tanto es importante conocer las funciones disponibles, para poder combinarlas adecuadamente. Podríamos decir que es posible llegar a la misma solución (el mismo modelo geométrico), con distintos 'árboles'. Podemos combinar funciones diferentes, en distinto orden, con parámetros distintos y obtener exactamente la misma geometría.

Por lo tanto, es muy importante seleccionar adecuadamente el orden y el tipo de funciones que utilizaremos en nuestro modelo. Es necesario destacar el concepto de 'dependencia'. Al crear una función, esta ha de apoyarse en algún objeto (cualquier entidad geométrica o referencia, plano, curva, punto, arista, superficie...) o función previamente definido. Al hacer esto estamos creando una dependencia de esta nueva función con las anteriores. Esto quiere decir que si modifico o elimino alguna de estas funciones de apoyo, la nueva función puede verse afectada, o incluso ser eliminada. Denominaremos 'Parent' a esta nueva función creada, y diremos que todos aquellos objetos o funciones en las cuales me he apoyado son 'Children' de esta. Esta dependencia se denomina con el término inglés: ParentChild Relationship

A continuación enumeraremos las funciones más habituales en el modelado de sólidos.

- **Protrusion:** Añade material a la pieza. Los 4 modos de añadir material a una pieza: **Extrude, Revolve, Blend, Sweep**
- **Cut:** Elimina material del modelo. Hay 4 modos eliminar material de una pieza: **Extrude, Revolve, Blend, Sweep**
- **Charnfer:** Permite añadir un chaflán a una pieza.
- **Round:** Utilizaremos esta función para redondear aristas u otras partes del modelo.
- **Hole:** Esta función permite crear un agujero en la pieza.
- **Pattern:** también denominado 'patron'. Permite copiar una función un número determinado de veces.
- **Rib:** Se utiliza para añadir nervios fácilmente.
- **Shell:** Vacía automáticamente aquellas zonas del modelo que nos interesen.

Por lo tanto, la creación de un modelo sólido consiste en la correcta combinación de las funciones citadas, en el orden adecuado.

4.4.1.2. Entorno de trabajo de proengineer wildfire 5

En la figura que se muestra a continuación podemos observar la disposición de la ventana de trabajo de Pro Engineer, con las distintas zonas que lo componen.

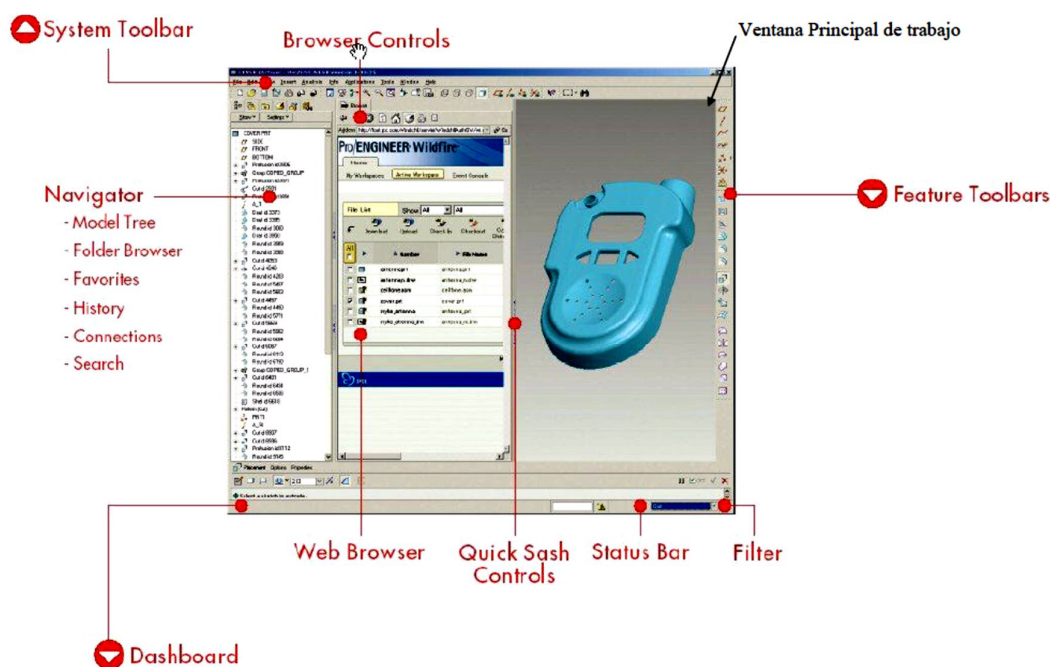


Figura 4. 21 Entorno de trabajo Pro Engineer Wildfire 5.

Ventana principal de trabajo: En esta ventana podemos encontrar el modelo de trabajo

Navigator: Uno de los elementos clave de esta zona es el árbol de modelo (Model Tree), esto es, el árbol del modelo o estructura del modelo activo. El tipo de información varía dependiendo de si el modelo es un conjunto (assembly) o un componente (part). Por otro lado, mediante este navegador se puede navegar entre carpetas o abrir/cerrar archivos (Folder Browser), controlar las distintas capas del modelo, así como acceder a catálogos on-line.

System Toolbar: Comprende los distintos menús e iconos necesarios para interactuar sobre el modelo.

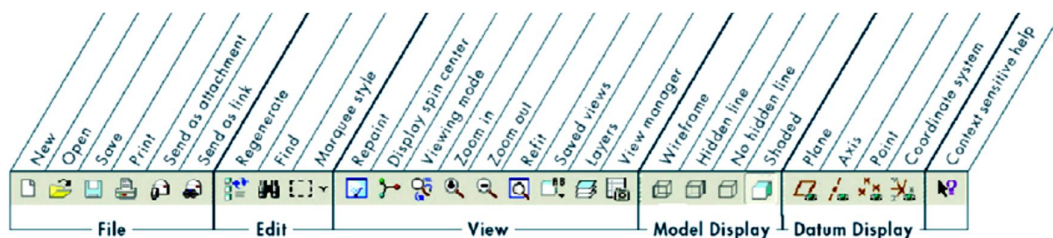


Figura 4. 22 Barra de herramientas del sistema.

Feature toolbar: Esta zona de menús permite acceder a las funciones de construcción y edición más habituales de ProEngineer.

Datum		Plane
		Axis
		Curve
		Sketched curve
		Point
		Coordinate system
		Analysis
Pick/Place		Hole
		Shell
		Rib
		Draft
		Round
		Chamfer
Base		Extrude
		Revolve
		Variable section sweep
		Boundary blend
		Style
Editing		Copy
		Mirror
		Move
		Merge
		Trim
		Pattern

Figura 4. 23 Feature toolbar, Pro Engineer.

Dashboard: Te guía durante el proceso de creación de un modelo. incluye entre otros:

- **MB sage Area:** El sistema suministra información sobre el estado de una operación
- **Status Bar:** Proporciona en una sola línea información sobre el menú o icono que se está eligiendo.

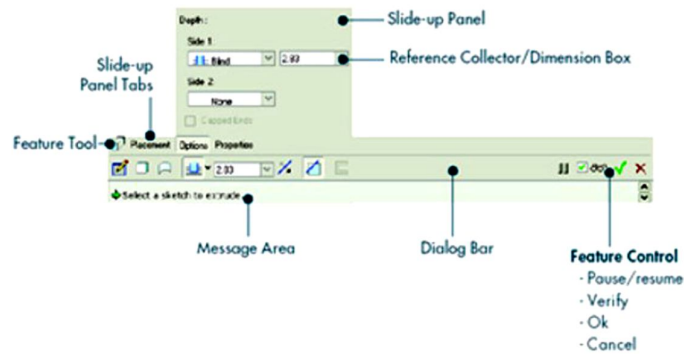


Figura 4. 24 Dashboard Proengineer Wildfire 5.

Los **Tipos de ficheros principales de ProEngineer**, a este respecto se pueden considerar los siguientes:

- Archivos de **conjunto**. (Assembly) xxx.xxx.asm
- Archivo de pieza o **componente** (Part) xxxxxx.prt
- Archivo de **dibujo** (Drawing) xxxxxx.drw
- Archivo de **sección** (Section, Sketch) xxxxxx.sec

La figura siguiente muestra el cuadro de dialogo “New” en el que están recuadrados los tipos de archivos empleados para el modelado del banco de ensayos.

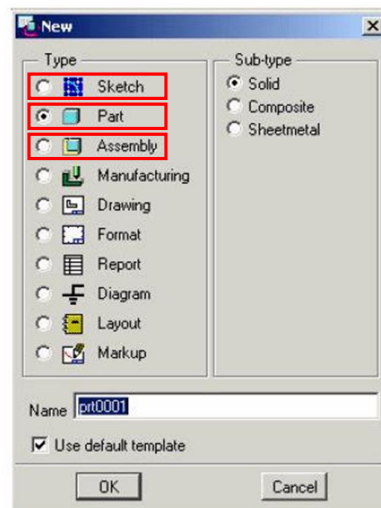


Figura 4. 25 Menú "nuevo" de Pro Engineer W5.

4.4.2. MODULOS FUNCIONALES DE PRO ENGINEER

Pro engineer dispone de una serie de módulos funcionales que además del consabido módulo estándar, de modelado, tanto de piezas (*.part) como de conjuntos (*.asm) y del resto de archivos vistos con anterioridad, que completan el paquete de software con módulos que añaden funciones como el análisis de elementos finitos, simulación de mecanismos, CFD, etc. La versión en la que hemos trabajado para el modelado del banco de ensayos contenía los siguientes módulos de:

- Estándar.
- Cableados.
- Tuberías.
- Soldadura.
- Datos heredados.
- Mechanica.
- Mechanism.
- Animación.
- Plastic advisor.

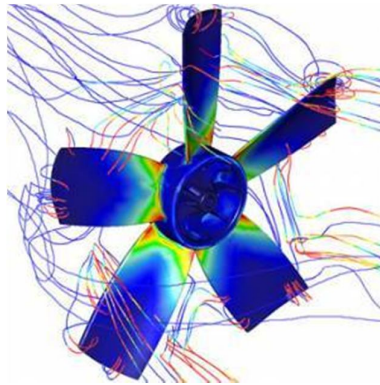


Figura 4. 26 Ejemplo simulación CFD en Pro Engineer W5.

De estos en la realización de este proyecto se han empleado:

- El **módulo estándar** para el modelado de todas las piezas individuales y el montaje de todo el conjunto y los subconjuntos que forman el modelo. También se ha empleado para la creación y animación de los explosionados incluidos en los videos de la aplicación, para poder capturar dicha animación se ha empleado un programa adicional de captura y edición de video, llamado *Camtasia Studio 7*.
- El **módulo Mechanism**, para simular el comportamiento cinemático de los mecanismos del conjunto, especial mención a la caracterización de la correa de transmisión.
- El **módulo Animación** para dar movimiento a todo el conjunto y montar las vistas y escenas de los videos incluidos en la aplicación didáctica.

En la figura siguiente se muestra una captura de pantalla del *entorno animación* de pro engineer, en el que se puede ver el modelado final del banco, también se puede ver representados sobre el mismo las relaciones cinemáticas entre los elementos que forman mecanismo y los motores cinemáticos agregados al conjunto.

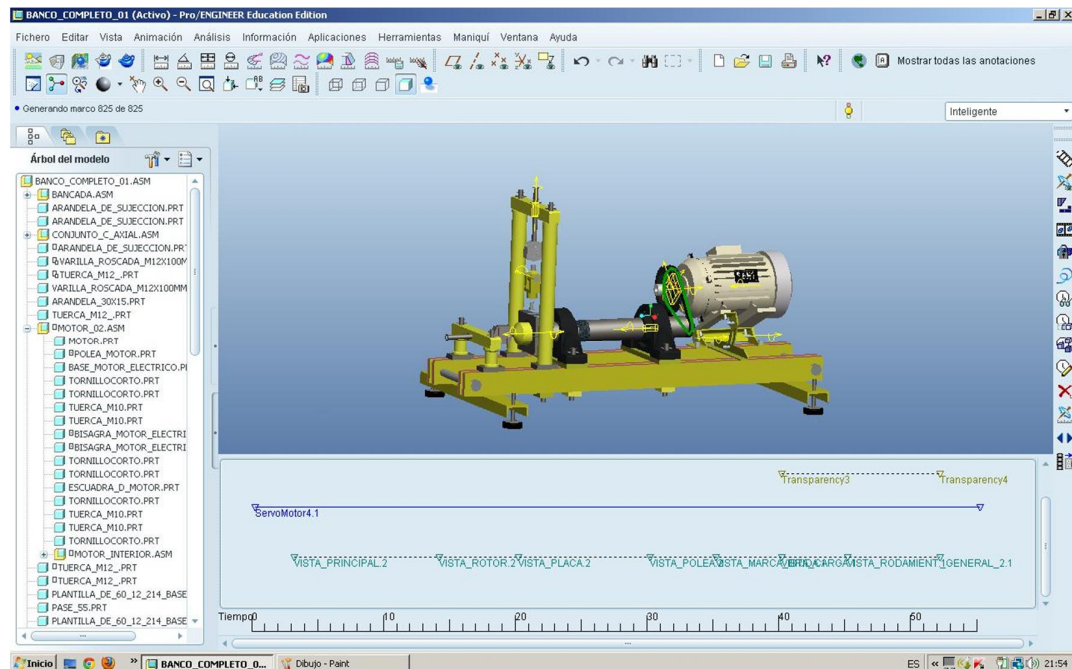


Figura 4. 27 Vista general, aplicación animación Pro Engineer W5

En la zona inferior de la imagen se puede ver la línea del tiempo que se emplea en Pro Engineer para montar la escena animada pudiendo añadir diferentes elementos sobre ella:

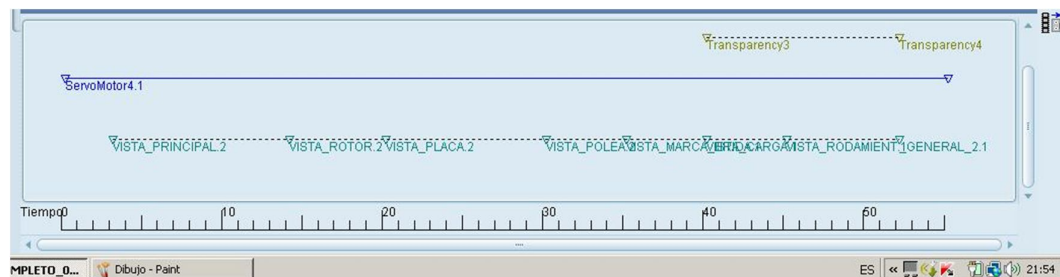


Figura 4. 28 Barra de trabajo temporal aplicación animación.

- **Motores cinemáticos** que definen los elementos en movimiento en la secuencia, estos motores están supeditados a las relaciones entre los elementos del conjunto final y a las relaciones de mecanismo adicionales creadas en el *entorno Mechanica*. En la definición del motor cinemático podemos configurar multitud de parámetros, como velocidad, aceleración, posición, etc. Tal y como se puede ver en la siguiente figura.



Figura 4. 29 Insertar motor cinemático.

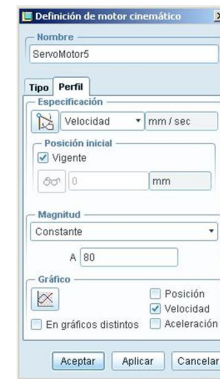


Figura 4. 30 Configuración motor cinemático.

- **Vistas durante la animación** estas vistas se pueden crear de ante mano en el editor de vistas de la *entorno estándar* estando disponibles en este entorno de animación. Las vistas se insertan en la línea del tiempo con la permanencia en ellas que se desee y Pro Engineer realizará transiciones de cámara entre una posición y otra.



Figura 4. 31 Insertar vista.



Figura 4. 32 Selección de vista.

- **Transparencias durante la animación** que permiten hacer transparentes los elementos del modelo deseados, estas transparencias también son configurables, eligiendo que elementos queremos hacer transparentes, en qué grado, en qué momento y durante cuánto tiempo.



Figura 4. 33 Insertar transparencia.



Figura 4. 34 Configurar transparencia.

Tras la configuración del montaje de toda la escena y los elementos que queremos mostrar en ella, tenemos que hacer clic en el **botón de Iniciar**, con el que Pro Engineer comenzará la simulación y calculará los fotogramas y la posición de todos los elementos, es la fase de procesado.



Figura 4. 35 Botón Iniciar.

Para poder guardar esta animación tendremos que acceder (una vez hecho el procesado en el botón de iniciar) al **botón de Reproducir** con el que podremos definir los parámetros propios del video que queremos generar, como formato, resolución



Figura 4. 36 Botón reproducción.



Figura 4. 37 Menú configuración video.

4.4.3. EL MODELADO DEL BANCO DE ENSAYOS

Para el modelado del banco se ha realizado el modelado de más de 200 piezas individuales (*.prt), que se han montado en subconjuntos (*.asm) que a su vez se ensamblan en el conjunto final que resulta el banco también en un archivo *.asm. Si bien en el presente documento tan solo se van a mostrar, a modo de ejemplos representativos, algunos conjuntos de modelado del banco de ensayo.

4.4.3.1. Conjunto completo del banco de ensayo

Aquí podemos ver una vista general del banco de ensayos en el que, como hemos dicho anteriormente, se ha realizado por el ensamblado de varios subconjuntos como el subconjunto motor el *subconjunto de carga* ofreciendo una imagen muy cercana a la del banco real ya existente.

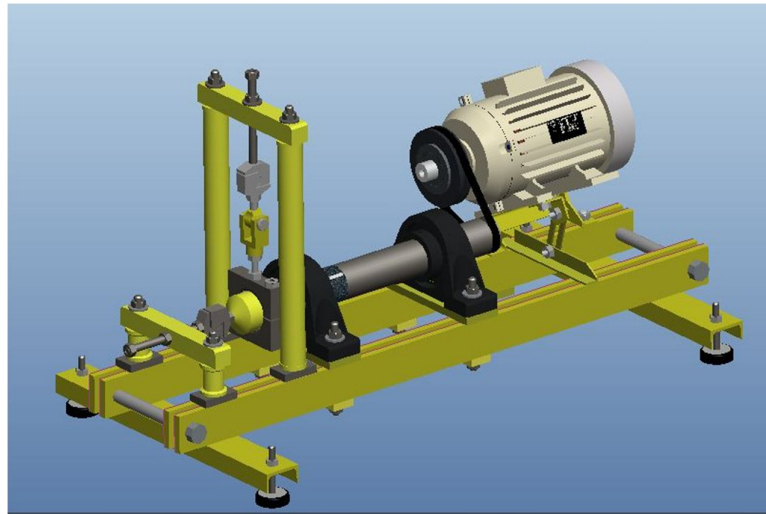


Figura 4. 38 Imagen general del modelo de banco de ensayo.



Figura 4. 39 Fotografía banco real.

En la siguiente figura podemos ver las 6 vistas principales del modelado del banco completo banco completo.

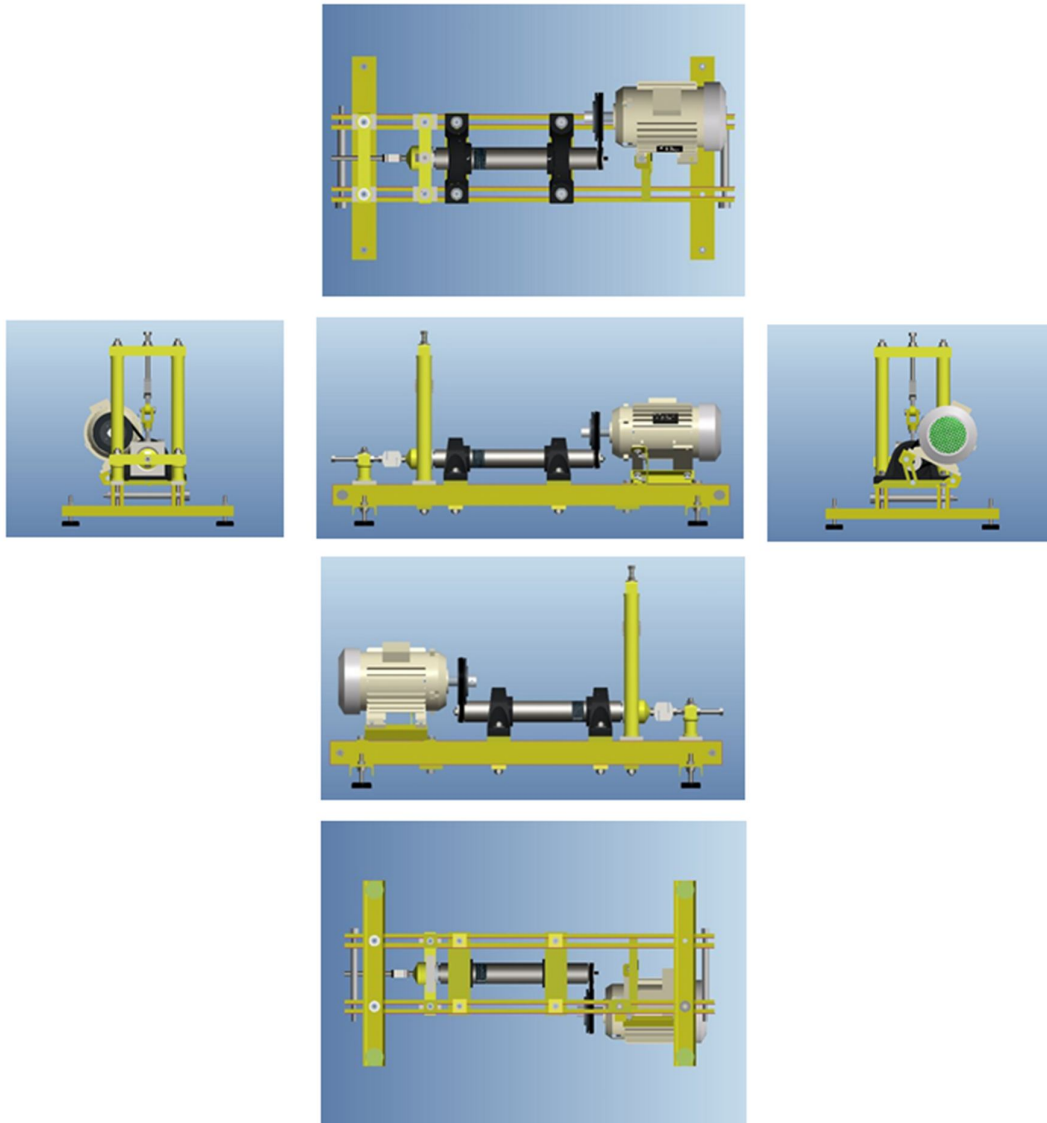


Figura 4. 40 Desarrollo vistas principales banco ensayo.

4.4.3.2. El subsistema motor

El subsistema motor contiene los modelos ensamblados de los perfiles estructurales que hacen de soporte regulable para el motor, el motor en sí, que se han modelado interiormente de forma aproximada los elementos principales del mismos, como son eje, rotor, estator y ventilador de refrigeración.

En este conjunto se pueden observar detalles del modelado con gran precisión como la placa de especificaciones del motor en él se pueden leer los datos proporcionados por el fabricante del motor (Siemens).

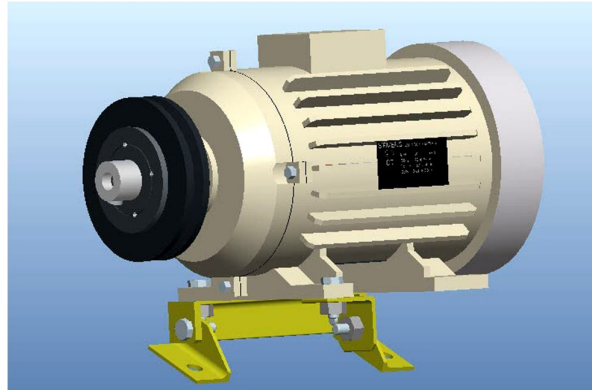


Figura 4. 41 Modelado conjunto motor.

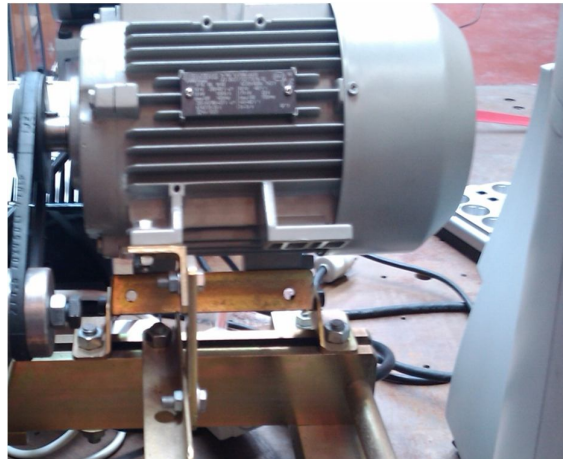


Figura 4. 42 Fotografía del motor original.

4.4.3.3. El rodamiento

El rodamiento ha sido modelado conforme a las especificaciones dimensionales proporcionadas por el fabricante del rodamiento original empleado para realizar el modelo, se trata de un modelo 6206 del fabricante *SKF*. El modelo al simularlo se comporta de forma concordante con la realidad ya que el anillo interior (solidario al eje) tiene un movimiento rotatorio y los elementos rodantes (bolas) tienen otro relativo a este y distinto.

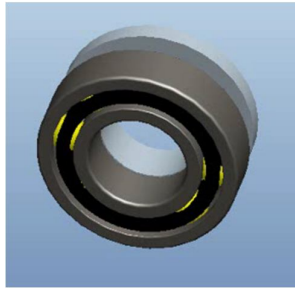


Figura 4. 43 Modelado rodamiento y casquillos de desmontaje.



Figura 4. 44 Fotografía rodamiento SKF6206

4.4.3.4. Subsistema de transmisión

El subsistema de transmisión consta básicamente del eje, los rodamientos soporte, la correa de transmisión y la p Polea solidaria al eje de trabajo del motor. El montaje y relación de este punto ha sido uno de los más complicados, debido al carácter elástico del ajuste de la correa con sus respectivos alojamientos en eje y polea, además hay que darle las relaciones justas a estos 3 elementos para que permita el giro sin perder su posición. Además a través de la *aplicación Mechanism* se le confirió una relación cinemática concreta a estos elementos que es el de “correa” en el que introduciendo los parámetros necesarios realiza el movimiento de la animación posterior conforme a la realidad.

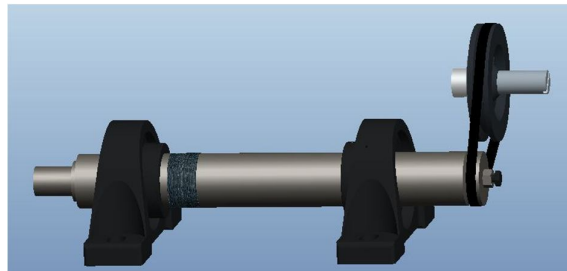


Figura 4. 45 Modelado de subconjunto transmisión.

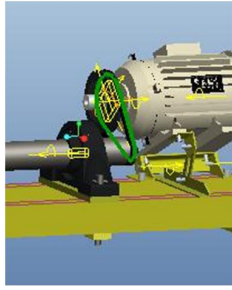


Figura 4. 46 Modelo con relación cinemática de correa

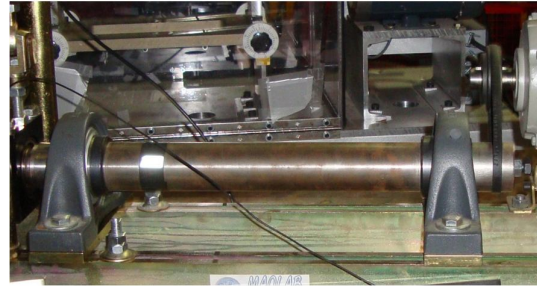


Figura 4. 47 Fotografía transmisión real

4.4.3.5. El subsistema de carga

Este subsistema comprende el modelado de un buen número de piezas de distinta geometría y tamaño, incluyendo la brida con el alojamiento para el montaje del rodamiento y del anillo extractor, este subconjunto lo podríamos dividir en a su vez en dos más pequeños que son el subconjunto de carga axial y de carga radial, tal y como podemos ver en las siguientes figuras.

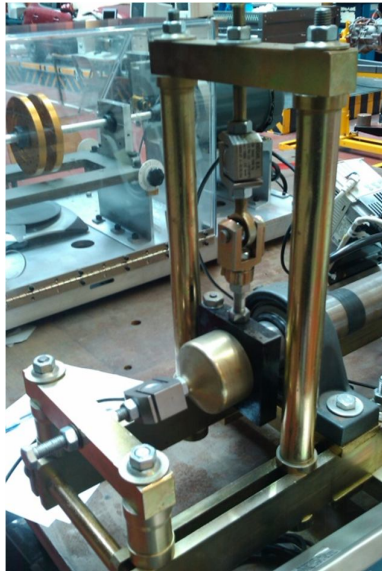


Figura 4. 48 Fotografía del conjunto de carga.

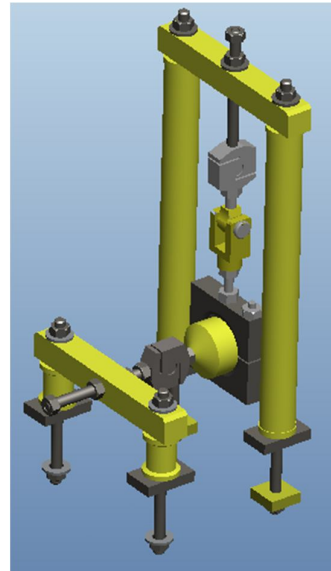


Figura 4. 49 Modelado del conjunto de carga.

A continuación en la figura, se muestra el explosionado de una de los subconjuntos de carga, en concreto el de carga axial.

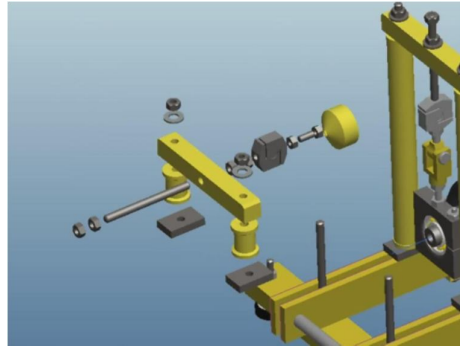


Figura 4. 50 Captura explosionado subconjunto carga axial.

4.4.3.6. Elementos de medida y control

Estos elementos no tiene un trabajo funcional en el modelo del banco ya que no tienen movimiento en la animación pero si que tiene un gran valor de refuerzo de la sensación visual del conjunto ya de nuevo aquí vemos gran cantidad de detalles que hace que resulte muy cercano a la realidad, sobre todo en el caso del display de carga.. Estos elementos son:

- El display de carga



Figura 4. 51 Modelado display carga.



Figura 4. 52 Fotografía display de carga.

- **El variador de velocidad**

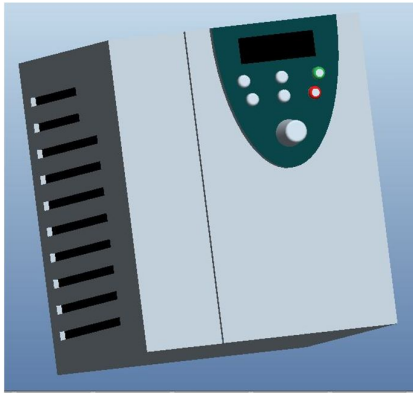


Figura 4. 53 Modelo Variador de velocidad.



Figura 4. 54 Fotografía variador de velocidad.

- **El acelerómetro**

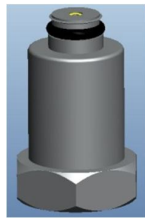


Figura 4. 55 Modelo acelerómetro.



Figura 4. 56 Fotografía acelerómetro.

Como ya hemos comentado anteriormente el modelado completo del banco lo componen un gran número de piezas y subconjuntos pero creemos que el mostrarlas aquí no aporta un valor añadido al documento ya que estas son las piezas más representativas del conjunto y que dan una idea clara de él.



CAPITULO 5

5.APLICACIÓN DIDACTICA



5.1. INTRODUCCIÓN

Para una mejor y más amplia comprensión de las funcionalidades del banco de ensayo, así como un acercamiento general y completo a todo lo relacionado con los rodamientos, vibraciones, ensayos, y de la inclusión de introducciones teóricas y ejemplos prácticos, se ha creado una aplicación didáctica orientada a que el estudiante de forma autodidacta o con la guía de un profesor, navegue por los menús de una forma libre accediendo a la información que necesite o quiera consultar en cada momento.

La aplicación se ha creado en formato pptx (PowerPoint 2007/2010), se tomó esta decisión, ya que su creación es sencilla, el resultado es muy visual y se trata de una aplicación muy extendida en todos los hogares, e instalada en todos los puestos informáticos de los centros educativos, por lo que no es necesaria la instalación de ningún ejecutable (*.exe) limitada en la mayoría de los puestos informáticos de los centros docentes.

La aplicación se subdivide en 3 grupos de aplicaciones secundarias, que hacen un total de 13 archivos pptx, sin embargo se puede consultar toda la información contenida en cada uno de ellos, accediendo desde el menú principal de la aplicación principal denominada APLICACIÓN_BANCO_RODAMIENTOS.pptx.

Los 3 grupos de aplicaciones secundarias son:

- “RODAMIENTOS”
- “VIBRACIONES”
- “EL BANCO DE ENSAYO”

5.2. ESTRUCTURA DE LA APLICACIÓN

La estructura jerárquica que siguen los archivos que componen la aplicación se muestran en el esquema siguiente:

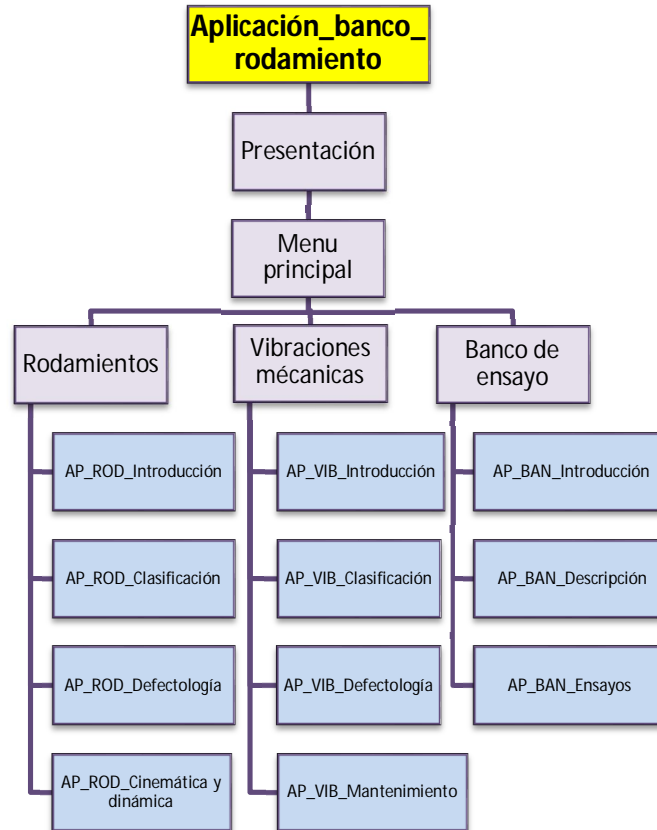


Figura 5. 1 Esquema de Aplicación.

Los recuadros de color amarillo y azul son los archivos principales que componen la aplicación, en los que el amarillo es la aplicación principal y las azules son las secundarias, a las cuales se accede desde la aplicación principal sin necesidad de salir al explorador de Windows. Todas las diapositivas de que consta la aplicación están adjuntas en el **anexo** de este documento.

5.2.1. SECCIÓN RODAMIENTOS

Como su propio nombre indica expone todo lo relacionado con los rodamientos, sus defectos más comunes, su comportamiento vibratorio, etc. Es la sección más compleja en su estructura como se puede ver en el esquema siguiente.

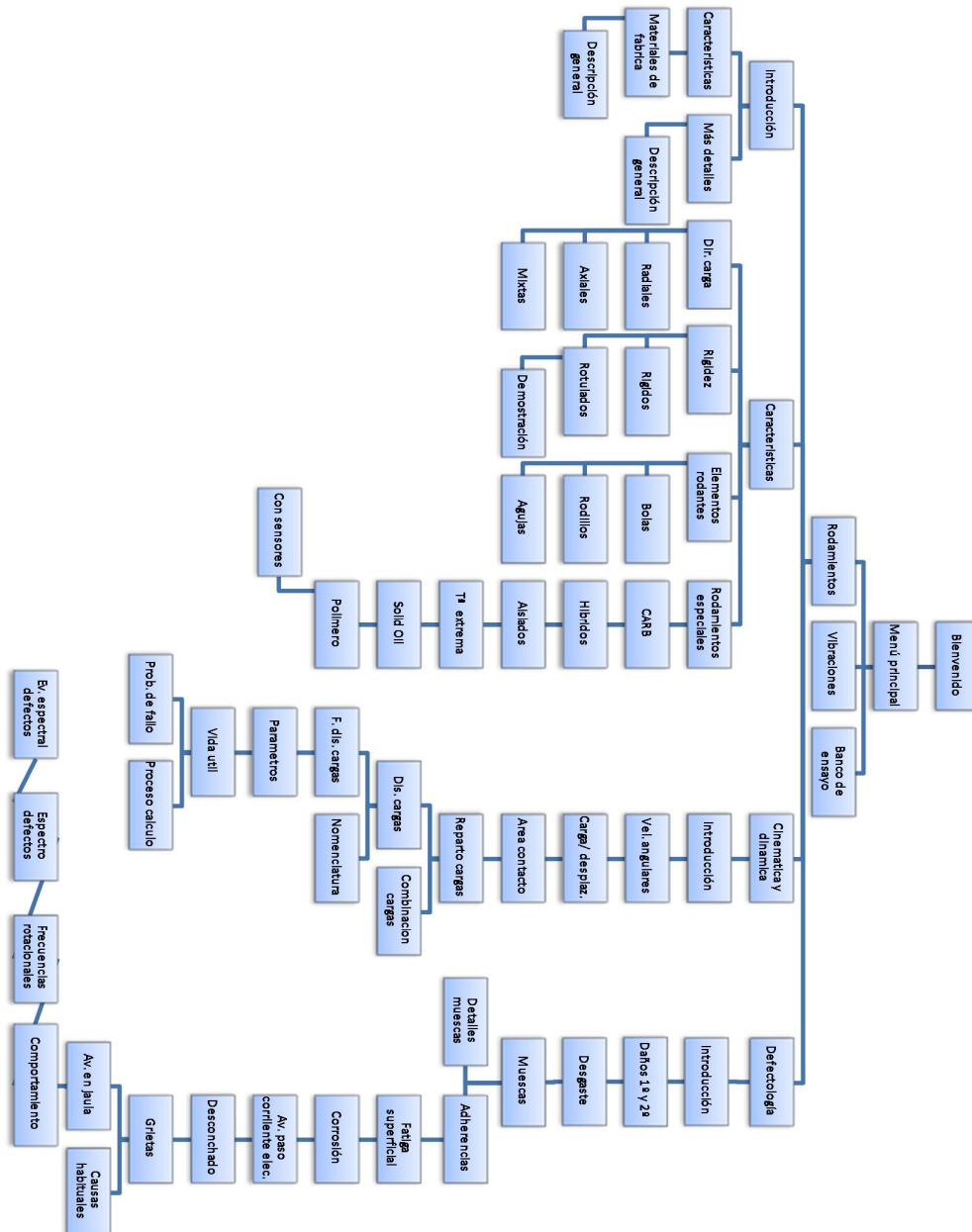


Figura 5. 2 Esquema sección rodamientos.

5.2.2. SECCIÓN VIBRACIONES

A continuación se muestra la estructura lógica de la sección en el que se puede ver por partes que componen la sección.

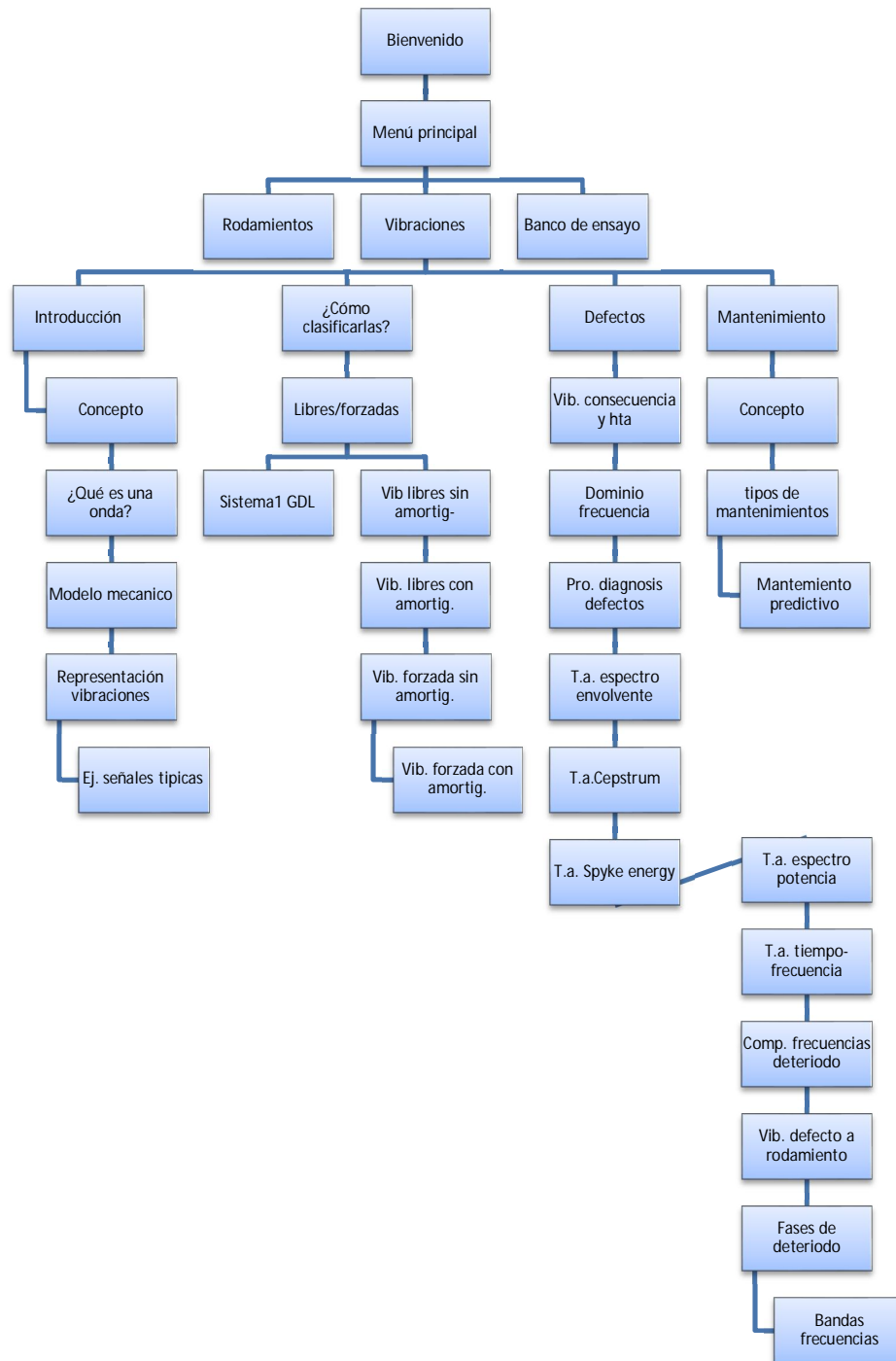


Figura 5. 3 Esquema aplicación vibraciones.

5.2.3. SECCIÓN BANCO DE ENSAYO

A continuación se muestra la estructura lógica de la sección en el que se incluyen todos los datos de cada subsistema del banco de ensayo, como se realizan los ensayos en el banco, e información sobre otros tipos de bancos.

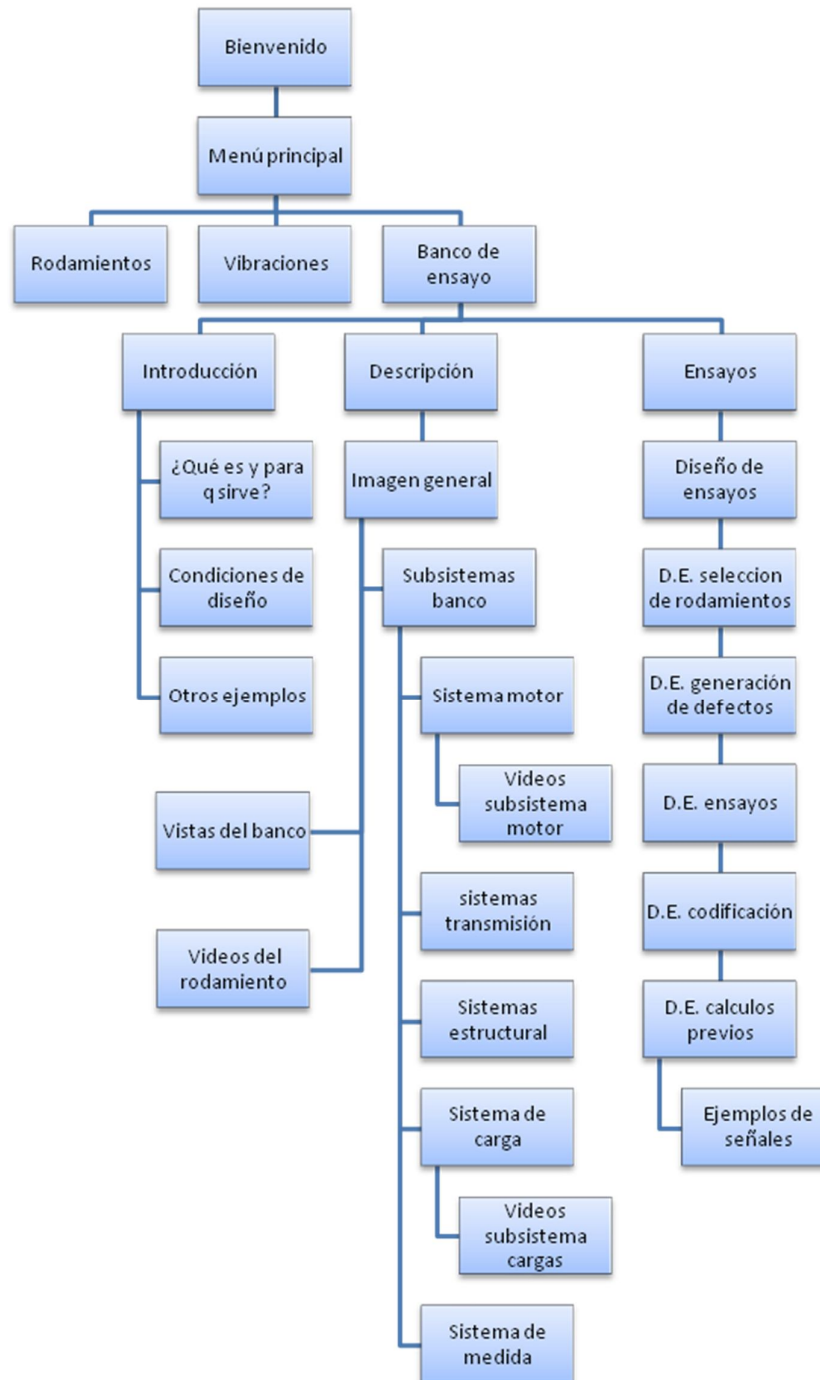


Figura 5. 4 Esquema de aplicación banco de ensayo.

5.2.4. INTERFACE DE APLICACION

La interface de la aplicación pretende dar un acceso lo más visual e intuitivo posible, a toda la información contenida en la misma. De este modo comenzaremos por la pantalla de acceso a cada una de las 3 secciones principales, a través del **añillo de acceso** de la aplicación principal, a la cual accedemos abriendo el archivo *Aplicación_Banco_Rodamientos.pptx* del directorio de la aplicación.


Nota: Es importante tener en cuenta que, para una adecuada visualización y navegación por la aplicación es absolutamente imprescindible entrar en *modo presentación* desde el botón habilitado para ello () pulsando la tecla F5.



Figura 5. 5 Pantalla principal de aplicación con anillo de acceso.

Haciendo clic en alguno de los 3 botones, accederemos al menú principal de cada sección en el que podremos seleccionar el tema que deseamos ver. En la zona superior izquierda de cada una de estas pantallas, encontraremos el **menú de navegación lateral (MNL)** que nos permitirá en todo momento acceder a cualquiera de los temas que pertenecen a la sección en que nos encontremos. En las siguientes imágenes podemos ver



Figura 5. 6 Pantalla principal de sección.

A continuación se muestran los 3 MNL que presenta la aplicación en función de en qué sección nos encontremos, en los 3 MNL podemos ver que hay un **botón** común y es el de **menú principal**, en el que podemos volver desde cualquier punto de la aplicación, hasta el anillo de acceso principal y acceder a cualquiera de las otras 2 secciones.



Figura 5. 7 MNL Banco de ensayo.



Figura 5. 8 MNL Vibraciones.



Figura 5. 9 MNL Rodamientos.

Cada vez que entremos en un nuevo tema el MNL cambiará, y el color del tema quedará resaltado en rojo, este permanecerá así mientras nos encontremos dentro de esa sección.



Figura 5. 10 MNL con tema marcado.

Para facilitar la navegación por los contenidos de la aplicación y que resulte más sencillo para el usuario, se han implementado una serie de controles y notas que pretenden ser de ayuda al efecto. Estas son las siguientes:

- **Botón anterior**, con el que haciendo clic retrocedemos a la pantalla inmediatamente anterior a la que estamos actualmente.



Figura 5. 11 Botón de anterior.

- **Señal clic para continuar** es un texto parpadeante, que indica que haciendo clic en cualquier lugar libre de la pantalla pasaremos a ver la siguiente información del tema que estamos viendo.



Figura 5. 12 Señal de clic.

- **Botones de acción varios**, son botones nos llevan a secciones adicionales o con información ampliada o complementaria a la del tema tratado en esta sección. Su función depende del texto que contengan y determina su acción al hacer clic sobre ellos, así si contiene la palabra **siguiente** obtendremos mas información sobre el tema actual. Si contiene la palabra **atrás** significa que volveremos a la información inmediatamente anterior a la actual. Si contiene la palabra **volver** significa que retrocedemos a la pantalla del tema principal desde donde habíamos partido. También pueden contener cualquier otra información que indicará claramente la finalidad de donde va a dirigirnos al hacer clic sobre él.



Figura 5. 13 Botón multifunción.

- **Botón vídeo** indica que hay disponible algún video relacionado con la información presentada en pantalla, al hacer clic sobre el nos lleva a una pantalla flotante (pantalla superpuesta a la que nos encontramos) en la que se muestra el video o los videos.



Figura 5. 14 Botón vídeos.

- **Información en vínculos de imagen** son mensajes que encontramos generalmente debajo de fotografías y que mediante una frase corta nos indica la acción al hacer clic sobre la imagen, sirve también para acceder a información adicional o para ver videos en la pantalla actual, como en el ejemplo de la figura adjunta.

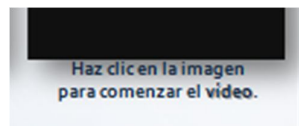


Figura 5. 15 Mensaje de acción.



CAPITULO 6

6. PRESUPUESTOS



A continuación se expone un desglose de las actividades, equipos y personal que han sido utilizadas o han colaborado en la realización de este proyecto, con objeto de ofrecer un presupuesto que pueda servir como indicador del coste del proyecto. El desglose de costes se ha dividido en cuatro grupos:

- **Equipos utilizados para los ensayos experimentales:** Estos equipos que detallamos a continuación los vamos a dividir en aquellos que alquilaremos o bien compraremos.
 - Alquiler: El alquiler será de un periodo de un mes y constara del banco de ensayo, acelerómetro Brüel&Kjær modelo 4382, amplificador de carga Brüel&Kjær modelo 2635, tarjeta adquisición de datos Keithley modelo DAS-1200, un tacómetro y el cableado necesario.
 - Compra: 30 unidades de rodamientos SKF modelo 6206 y un equipo informático, el cual también usaremos para la redacción de la memoria.
- **Licencias de software:** Pro-Engineer 5 y Microsoft Office 2010. Estas licencias se comprarán estimando una amortización para cada uno de ellos de 1/10 para el caso de Pro-Engineer 5 y 1/10 para el caso del Microsoft Office 2010; además de Camtasia Estudio 7.
- **Personal:** Estimación del coste de todo el personal que ha colaborado en el proyecto. En este caso, como Ingeniero Senior, el tutor del proyecto, Higinio Rubio Alonso y como Ingeniero Junior, el autor del proyecto, Arturo Cano Brea.
- **Resto de costes directos:** Se establece en este apartado los costes generales que faltan por detallar, tales como dietas, viajes, materiales fungibles, coste de impresión...

Una vez desglosado los elementos necesarios presentamos un presupuesto detallado con información económica de cada elemento así como el presupuesto global para este proyecto fin de carrera.



PRESUPUESTO PROYECTO

Alquiler periodo de 1 mes:

• Banco de ensayo	170 €
• Acelerómetro Brüel&kjaer modelo 4382	100 €
• Amplificador de carga Brüel&kjaer modelo 2635	200 €
• Tarjeta adquisición de datos Keithley modelo DAS-1200	150 €
• Cables y conectores	50 €
• Tacómetro	50 €

Gastos informáticos, papelería y fungibles:

• Rodamientos SKF modelo 6206 (30 unidades)	970 €
• Equipo informático (amortización 1/4)	450 €
• Licencias de programas:	
• <i>Pro Engineer</i> (amortización 1/10)	1.000 €
• <i>Microsoft Office 2010</i> (amortización 1/10)	380 €
• <i>Camtasia Studio 7</i>	570 €
• Gastos de impresión	
• Toners y papel	450 €
• Impresión memoria	360 €

Mano de obra:

• Ingeniería y redacción de la memoria	
• Ingeniería (75 €/hora x 120 horas)	9.000 €
• Documentación y redacción (30 €/hora x 180 horas)	5.400 €
• TOTAL	19.300 €

El presupuesto total de este proyecto asciende a la cantidad de 19.300 euros.

Leganés a 18 de Noviembre de 2011

El ingeniero proyectista

Fdo. Arturo Cano Brea





CAPITULO 7

7.CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

7.1. CONCLUSIONES

Tras la finalización del presente proyecto, podemos concluir que se han cubierto de manera satisfactoria cada uno de los objetivos planteados de antemano para el mismo, así y de una forma pormenorizada detallamos estos objetivos previos y su desarrollo.

Se ha logrado cumplir el objetivo principal de crear una aplicación que ***pudiese ser empleada en la mayoría de los ordenadores***, para ello se ha creado en formato PowerPoint 2007/11 (*.pptx) perteneciente al paquete ofimático Office 2007/10 presente en todos los puestos informáticos de la universidad y ampliamente extendido en la mayoría de los ordenadores personales, para facilitar su manejo en ordenadores no demasiado potentes se ha concebido la aplicación como una serie de pequeñas aplicaciones secundarias, que no saturan la memoria RAM del sistema, abriéndose esa información sólo cuando se va a consultar, sin que el usuario observe dichos cambios de aplicación quedando toda la ella como si de un solo archivo se tratase.

Se requería que fuese ***Sencilla*** pero a la vez ***completa***, durante todo el proceso de creación de la aplicación se ha buscado que la interface de usuario y el aspecto general de la aplicación sea lo más visual posible, empleando unos controles claros y homogéneos en toda ella, pero sin menoscabar la amplitud del contenido de la misma, que contiene toda la introducción teórica necesaria para formar al alumno en el ámbito de la diagnosis de defectos en rodamientos.

La aplicación puede ser empleada de forma ***autodidacta***, debido a la interactividad que ofrece y su organización por temas o de forma ***guiada por un profesor*** como aplicación docente, ya que aunque en la mayoría de los casos lleva más información de la habitual para su presentación en público su marcado carácter visual hace que también sea absolutamente válida para ello, su sistema de menús permite al profesor tener acceso al resto de la información y material multimedia como videos y fotografías, de una forma directa sin tener que salir de la aplicación.

En cuanto a los **objetivos secundarios** han sido cumplidos ampliamente, la recopilación de información ha abarcado gran parte de tiempo al ser los campos de aplicación de los temas a tratar muy amplios, se ha recopilado información sobre ***rodamientos*** en cuanto a fundamentos, tipos y su defectología, de ***vibraciones*** igualmente sus fundamentos, tipos, su medición y análisis enfocado a la defectología de rodamientos y sobre el banco de ensayo, su fundamento, diseño, partes y ejemplos de ensayo real con el mismo. La recopilación de toda esta información no solo implica el mero acopio de la misma sino la comprensión de la misma para plasmar de una forma lo más clara posible esa ingente cantidad de información.



En relación al *modelado del banco* se ha realizado con el software de CAD/CAM/CAE Pro Engineer Wildfire 5 se trata de un modelo realista en cuanto a diseño, dimensiones y aspecto, pero no solo ya que la cinemática del modelo se ha creado acorde a la realidad con unas relaciones de mecanismos entre los componentes, que hace que la cinemática del banco se aproxime en gran medida a la realidad. Para apoyar visualmente a la aplicación, se han creado animaciones del banco que muestran las partes del mismo en una simulación de funcionamiento y unos explosionados que simulan el montaje y desmontaje de algunos de los subsistemas del banco.

7.2. TRABAJOS FUTUROS

Como líneas futuras se proponen las siguientes evoluciones o mejoras:

- Realizar un estudio para buscar modificaciones en el banco que mejoren aún más su comportamiento ante vibraciones externas, tomando como base virtual el banco modelado en este proyecto.
- En relación a la aplicación didáctica sería muy interesante su implementación en otro tipo de formatos como pueden ser en formato web o como una aplicación con lenguaje de programación java o similar, que le daría unas posibilidades “on line” muy interesante por el auge actual de dichas aplicaciones.
- Realizar una aplicación interactiva de autoevaluación de conocimientos.
- Realizar una guía visual para que el usuario a través de imágenes pueda averiguar el defecto que tiene un determinado caso real.
- Aplicar esta filosofía y formato para la formación en otros temas ya sea de análisis de vibraciones en otros elementos como engranajes, ejes, etc como en otras materias ajenas a este ámbito.

Bibliografía

Libros

1. S. BRAUN. *Discover Signal Processing: An Interactive Guide for Engineers*. Ed. John Wiley & Sons, 2008.
2. J. GONZALEZ RODRIGUEZ, *Método Shoch pulse para detección de defectos en rodamientos*, Proyecto fin de carrera, Universidad Carlos III,
3. J. M. MARIN LOPEZ, *Análisis y caracterización holista de un sistema rotativo complejo*, Tesis doctoral, Universidad Carlos III de Madrid, Julio 2009
4. H. RUBIO ALONSO, *Caracterización de defectos localizados en sistemas mecánicos rotativos mediante análisis de vibraciones*, Tesis doctoral, Universidad Carlos III de Madrid, Junio 2003
5. P. FRAGA, *Vibraciones mecánicas, diagnostico de averías*. Servicio de publicaciones, Universidade da Coruña, 1999.
6. M. ARTÉS, J. C. GARCÍA, and H. RUBIO. *Técnica de análisis de la potencia espectral para saltos de frecuencia y su aplicación a un sistema mecánico con varios tamaños de defecto en rodamientos de bolas*. CIDIM 99, Santiago de Chile, 1999.
7. J.P. DEN HARTOG, *Mecánica de las vibraciones*, C.E.C.S.A., 1984.
8. J. C. GARCÍA, H. RUBIO, P. J. LORCA, D. RUIZ, and R. GARCÍA. *Simulación de defectos en elementos rodantes: aplicación a rodamientos*. XV CNIM, Anales de Ingeniería Mecánica. Pp. 1478-1583. 2003.
9. LAFITA BABIO, F.; MATA-CORTES, A. *Vibraciones mecánicas en ingeniería*. Madrid: INTA, 1964. 637 p. Depósito Legal M. 16.-1964.

Manuales

10. SKF. Catálogo general. 2006.
11. SKF. Manual SKF para el mantenimiento de rodamientos. 1996
12. Manual PRO-ENGINEER V. 2010.
13. SKF. Identifying the stages of bearing damage. *Revolutions*, 1999.
14. FAG. Techinal information. TI WL 43-1190 EA, 1999.
15. SKF. Vibration diagnostic guide. CM5003. SKF Condition Monitoring, 2000.



16. FAG. Rodamientos fag. catálogo wl 41 520/3 sb. Edición 2000.
17. FAG. Mounting and dismounting of rolling bearings. Publ. No. WL 80 100/3 EA, 1990.

Páginas web

18. <http://es.wikipedia.org>, fecha última visita(6/9/2011)
19. <http://www.skf.com>, fecha última visita (10/10/2011)
20. <http://www.fag.es>, fecha ultima visita (2/11/2011)
21. <http://www.koyo.co.uk>, fecha ultima visita (2/11/20011)
22. <http://www.feyc.es>, fecha última visita (13/9/2011)
23. <http://www.construsur.com.ar>, fecha última visita (10/10/2011)
24. <http://www.guemisa.com>, fecha última visita (16/10/2011)
25. <http://www.mantenimientomundial.com>, fecha última visita (17/09/2001)
26. <https://engineering.purdue.edu> fecha última visita (8/8/2011)
27. Gabungaman.com/Bering_cad fecha última visita (10/8/2011)
28. www.Nskeurope.es fecha última visita (20/8/2011)
29. www.Maintenanceworld.com fecha última visita (25/8/2011)

ANEXO

Diapositivas de la aplicación didáctica



MENÚ PRINCIPAL

- **INTRODUCCIÓN**
- CLASIFICACIÓN
- CINÉTICA Y DINÁMICA
- DEFECTOLOGÍA

LOS RODAMIENTOS Y SU DEFECTOLOGIA

INTRODUCCIÓN

Hay gran numero de tipos de rodamientos, dependiendo de multitud de variables tales como: tipos de elementos rodantes, función, forma, materiales de fabricación, etc. Estos tipos se pueden encontrar descritos y clasificados en el apartado "CLASIFICACIÓN" del menú de navegación lateral (en adelante MNL).





PARA CONTINUAR ➔

BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES



MENÚ PRINCIPAL

- **INTRODUCCIÓN**
- CLASIFICACIÓN
- CINÉTICA Y DINÁMICA
- DEFECTOLOGÍA

LOS RODAMIENTOS Y SU DEFECTOLOGIA

DESCRIPCIÓN GENERAL DE UN RODAMIENTO

ANILLO EXTERNO

ELEMENTO RODANTE

JAULA

ANILLO INTERNO



CARACTERÍSTICAS

MÁS DETALLES

BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES



TERMINOLOGIA DE LOS RODAMIENTOS

DESCRIPCIÓN GENERAL DE UN RODAMIENTO

EL RODAMIENTO

1	Aro interior
2	Aro exterior
3	Elemento rodante: bola, rodillo cilíndrico, agujas, rodillo cónico, rodillo a rótula
4	Jaula
5	Carcasa Obturación – rozante hecha de elastómero (ilustrada en la figura), o no rozante Placa de protección – hecha de chapa de acero, no rozante
6	Diámetro exterior del aro exterior
7	Agujero del aro interior
8	Diámetro del reborde del aro interior
9	Diámetro del reborde del aro exterior
10	Ranura para anillo elástico
11	Anillo elástico
12	Cara lateral del aro exterior
13	Ranura de anclaje para la obturación
14	Camino de rodadura del aro exterior
15	Camino de rodadura del aro interior
16	Ranura de obturación
17	Cara lateral del aro interior
18	Cheflón
19	Diámetro medio del rodamiento
20	Anchura total del rodamiento
21	Pestaña guía
22	Pestaña de retención
23	Ángulo de contacto

BANCOS DE ENSAYO DE RODAMIENTOS
ANÁLISIS DE VIBRACIONES

[ATRÁS](#)
[SIGUIENTE](#)

TERMINOLOGIA DE LOS RODAMIENTOS

DESCRIPCIÓN GENERAL DE UN RODAMIENTO

EL RODAMIENTO

CLASIFICACIÓN

ANILLO E

SEPARADOR

ANILLO

24	Arandela de eje
25	Conjunto de elementos rodantes y jaula
26	Arandela de alojamiento
27	Arandela de alojamiento con superficie de asiento esférica
28	Arandela de apoyo del asiento

BANCOS DE ENSAYO DE RODAMIENTOS
ANÁLISIS DE VIBRACIONES

[ATRÁS](#)

MENÚ PRINCIPAL

- INTRODUCCIÓN
- CLASIFICACIÓN
- KINÉTICA Y DINÁMICA
- DEFECTOLOGÍA

LOS RODAMIENTOS Y SU DEFECTOLOGIA

CARACTERÍSTICAS Y FUNCIÓN

Los rodamientos cumplen la función de permitir el giro relativo entre 2 elementos de una máquina rotativa, provocando la menor disipación energética posible, de forma análoga a los cojinetes de fricción. De esta forma, dependiendo de la aplicación en el que se va a implementar el elemento, priorizaran mas unos u otros parámetros a la hora de seleccionar entre un cojinete o un rodamiento, características del mismo, etc.

PARA CONTINUAR

BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES

MENÚ PRINCIPAL

- INTRODUCCIÓN
- CLASIFICACIÓN
- KINÉTICA Y DINÁMICA
- DEFECTOLOGIA

LOS RODAMIENTOS Y SU DEFECTOLOGIA

SIMILITUDES CON COJINETES DE FRICCIÓN

Los rodamientos están diseñados para que los rozamientos originados durante el giro no sean de deslizamiento (cojinetes), sino de rodadura, presentando muchas características similares a los cojinetes de fricción:

- Bajo rozamiento.
- Tolerancias y acabados muy rígidos.
- Necesidad de un montaje preciso.
- Sensible a impactos, sobrecargas, humedad, suciedad...
- Punto crítico dentro de la máquina, generalmente seleccionado para efectuar el mantenimiento.

DIFERENCIAS FRENTE A COJINETES

Los rodamientos presentan muchas ventajas frente a los cojinetes de fricción como:

- Coeficiente de rozamiento inferior y prácticamente independiente de velocidad y carga.
- Admite carga axial.
- Algunos tipos son autoalineables.

Pero también algunas desventajas:

- Precio más elevado.
- Montaje más complejo.

PARA CONTINUAR

BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES





MENÚ PRINCIPAL

- INTRODUCCIÓN
- CLASIFICACIÓN
- KINÉTICA Y DINÁMICA
- DEFECTOLOGIA



LOS RODAMIENTOS Y SU DEFECTOLOGIA

LOS MATERIALES DE FABRICACIÓN

Para la fabricación de los rodamientos, se emplean gran variedad de materiales, aunque tradicionalmente se han empleado mayoritariamente aleaciones metálicas, en especial aceros, la aparición de nuevas aplicaciones y requerimientos técnicos, ha extendido la utilización de otros materiales como polímeros o compuestos cerámicos.

Aún así los materiales más empleados para elementos rodantes y soporte son fabricados en aceros duros, con alta resistencia a la fatiga y al desgaste con una dureza del orden de 500-700^o Brinell:

- Aceros al temple total: Aceros al Cromo (1 % de Carbono y 1,5 % de Cromo)
- Aceros de cementación: Aceros al CromoManganeso o al CromoNíquel (0,15 % de Carbono)
- * Los elementos rodantes y las pistas de rodadura tienen un tratamiento 14 superficial especial, variando su dureza respecto a la de los soportes.
- * Las jaulas se realizan en aceros más blandos, poliamida, latón, etc.

[ATRÁS](#)

BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES



MENÚ PRINCIPAL

- INTRODUCCIÓN
- CLASIFICACIÓN
- KINÉTICA Y DINÁMICA
- DEFECTOLOGIA

LOS RODAMIENTOS Y SU DEFECTOLOGIA

CLASIFICACIÓN DE LOS RODAMIENTOS

Cada tipo de rodamiento presenta propiedades características que dependen de su diseño y que lo hacen más o menos adecuado para una aplicación determinada.

SEGÚN LA DIRECCIÓN DE LA CARGA

SEGÚN LA RIGIDEZ

SEGÚN LOS ELEMENTOS RODANTES

RODAMIENTOS ESPECIALES



[CRITERIOS DE SELECCIÓN](#)

BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES

MENÚ PRINCIPAL
■ INTRODUCCIÓN
■ **CLASIFICACIÓN**
■ KINÉTICA Y DINÁMICA
■ DEFECTOLOGÍA

LOS RODAMIENTOS Y SU DEFECTOLOGÍA

CLASIFICACIÓN DE LOS RODAMIENTOS

SEGÚN LA DIRECCIÓN DE LA CARGA

- CARGAS RADIALES
- CARGAS AXIALES
- CARGAS MIXTAS

ATRÁS

BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES

MENÚ PRINCIPAL
■ INTRODUCCIÓN
■ **CLASIFICACIÓN**
■ KINÉTICA Y DINÁMICA
■ DEFECTOLOGÍA

LOS RODAMIENTOS Y SU DEFECTOLOGÍA

CRITERIOS DE SELECCIÓN DE RODAMIENTOS

Cada tipo de rodamiento presenta propiedades características que dependen de su diseño y que lo hacen más o menos adecuado para una aplicación determinada. La selección no es nada sencilla y requiere de un profundo conocimiento tanto del sistema en que se quiere implementar, como de las amplias posibilidades técnicas que el mercado nos brinda.

Este aspecto requeriría de un tratamiento en profundidad y detallado que no entra dentro del ámbito de esta aplicación, sin embargo vamos mostrar de forma indicativa los parámetros que se han de tener en cuenta para esta tarea.

ATRÁS SIGUIENTE

BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES

MENÚ PRINCIPAL

- INTRODUCCIÓN
- CLASIFICACIÓN
- KINÉTICA Y DINÁMICA
- DEFECTOLOGÍA

LOS RODAMIENTOS Y SU DEFECTOLOGÍA

CRITERIOS DE SELECCIÓN DE RODAMIENTOS

La información facilitada a continuación, debe servir para indicar los factores más importantes a considerar a la hora de seleccionar un tipo de rodamiento estándar, y facilitar así una elección apropiada.

Encontrará información adicional sobre los tipos de rodamientos estándar, sus características de diseño y su adecuación para una aplicación determinada en la [tabla](#).

Encontrará información más detallada sobre los tipos de rodamientos individuales, incluyendo sus características y los diseños disponibles, en las secciones correspondientes a clasificación. Los tipos de rodamientos que no aparecen en la tabla sólo se utilizan, generalmente, en algunas aplicaciones específicas.

BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES
ATRÁS
SIGUIENTE

Tabla de Selección Rápida de Rodamientos

La tabla únicamente permite una clasificación relativamente superficial de los tipos de rodamientos. El número limitado de símbolos no permite una diferenciación exacta, y algunas de las propiedades no dependen sólo del diseño del rodamiento. Por ejemplo, la rigidez de una disposición con rodamientos de bolas con contacto angular o rodamientos de rodillos cónicos, depende también de la precarga aplicada, y la velocidad de funcionamiento, que está influenciada por la precisión del rodamiento y sus componentes adyacentes, así como por el diseño de la jaula.

La tabla no ofrece más que una orientación aproximada de modo que cada caso requiere una selección más sofisticada según la información dada en los párrafos anteriores o la información más detallada de los textos que preceden a cada sección de tablas.

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Simbología																				
*** excelente	rodillos																			
** buena	rodillos																			
* aceptable	rodillos																			
0	rodillos																			
Diseño																				
1. Agujero cónico																				
2. Placa de protección u. lubricación																				
3. Autoalineable																				
4. No desmontable																				
5. Desmontable																				
Características																				
6. Rodamiento adecuado para																				
6. Carga puntual radial																				
7. Carga puntual axial																				
8. Carga combinada																				
9. Momentos																				
10. Alta velocidad																				
11. Alta precisión de funcionamiento																				
12. Alta rigidez																				
13. Funcionamiento silencioso																				
14. Baja fricción																				
15. Compensación por desalineación en funcionamiento																				
16. Compensación por errores de alineación (montaje)																				
17. Disposiciones de rodamiento tipo																				
18. Disposiciones de rodamiento tipo																				
19. Desplazamiento axial posible en el rodamiento																				

ATRÁS



MENÚ PRINCIPAL

- INTRODUCCIÓN
- CLASIFICACIÓN
- KINÉTICA Y DINÁMICA
- DEFECTOLOGÍA

LOS RODAMIENTOS Y SU DEFECTOLOGÍA

CRITERIOS DE SELECCIÓN DE RODAMIENTOS

Parámetros a tener en cuenta, para la selección del rodamiento mas adecuado son:

ESPACIO DISPONIBLE: En muchos casos, una de las dimensiones principales del rodamiento, el diámetro del agujero, viene determinado por las características de diseño de la máquina y por el diámetro del eje.

De forma orientativa podemos decir que, Para los ejes de diámetro pequeño, se puede utilizar cualquier tipo de rodamiento de bolas, siendo los rodamientos rígidos de bolas los más utilizados; los rodamientos de agujas también son adecuados (fig. izquierda). Para ejes de diámetros grandes, se pueden considerar los rodamientos de rodillos cilíndricos, cónicos, a rótula y toroidales autoalineables (CARB), así como los rodamientos rígidos de bolas (fig. derecha).



BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES

ATRÁS

SIGUIENTE



MENÚ PRINCIPAL

- INTRODUCCIÓN
- CLASIFICACIÓN
- KINÉTICA Y DINÁMICA
- DEFECTOLOGÍA

LOS RODAMIENTOS Y SU DEFECTOLOGÍA

CRITERIOS DE SELECCIÓN DE RODAMIENTOS

Parámetros a tener en cuenta, para la selección del rodamiento mas adecuado son:

CARGAS: Las consideraciones de carga son unos de los parámetros esenciales de diseño, así tendremos que tener en cuenta:

- **Magnitud de la carga.** es uno de los factores que suele determinar el tamaño del rodamiento a utilizar. Por lo general, los rodamientos de rodillos pueden soportar mayores cargas que los rodamientos de bolas de tamaño similar (fig. sup. izquierda) y los rodamientos llenos de elementos rodantes pueden soportar mayores cargas que los rodamientos con jaula correspondientes. Los rodamientos de bolas son los más utilizados cuando las cargas son ligeras o moderadas. Para cargas elevadas y ejes de gran diámetro, la elección mas adecuada son los rodamientos de rodillos.
- **Sentido de la carga.** Para cargas radiales hay que tener en cuenta los rodamientos de rodillos cilíndricos, los rodamientos de agujas y los rodamientos toroidales autoalineables, sólo pueden soportar cargas puramente radiales (fig. inf. izquierda). Todos los demás rodamientos radiales pueden absorber algunas cargas axiales además de las cargas radiales.



BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES

ATRÁS

SIGUIENTE



MENÚ PRINCIPAL

- INTRODUCCIÓN
- CLASIFICACIÓN
- KINÉTICA Y DINÁMICA
- DEFECTOLOGÍA



LOS RODAMIENTOS Y SU DEFECTOLOGÍA

CRITERIOS DE SELECCIÓN DE RODAMIENTOS

Parámetros a tener en cuenta, para la selección del rodamiento mas adecuado son:

CARGAS: Las consideraciones de carga son unos de los parámetros esenciales de diseño, así tendremos que tener en cuenta:

- Magnitud de la carga.
- Sentido de la carga.

Para **cargas radiales** Los rodamientos axiales de bolas y de bolas de cuatro puntos de contacto (*fig. izq. sup*) son adecuados para las cargas ligeras o moderadas axiales. Los rodamientos axiales de bolas con contacto angular pueden soportar cargas axiales moderadas a altas velocidades y también cargas radiales simultáneamente (*fig. inf*). Para cargas axiales moderadas y elevadas en un sentido, los rodamientos axiales de agujas y los de rodillos cilíndricos y cónicos, así como los rodamientos axiales de rodillos a rótula (*fig. izq. inf*). Los rodamientos axiales de rodillos a rótula también pueden soportar cargas radiales simultáneas.



BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES

ATRÁS
SIGUIENTE



MENÚ PRINCIPAL

- INTRODUCCIÓN
- CLASIFICACIÓN
- KINÉTICA Y DINÁMICA
- DEFECTOLOGÍA

LOS RODAMIENTOS Y SU DEFECTOLOGÍA

CRITERIOS DE SELECCIÓN DE RODAMIENTOS

Parámetros a tener en cuenta, para la selección del rodamiento mas adecuado son:

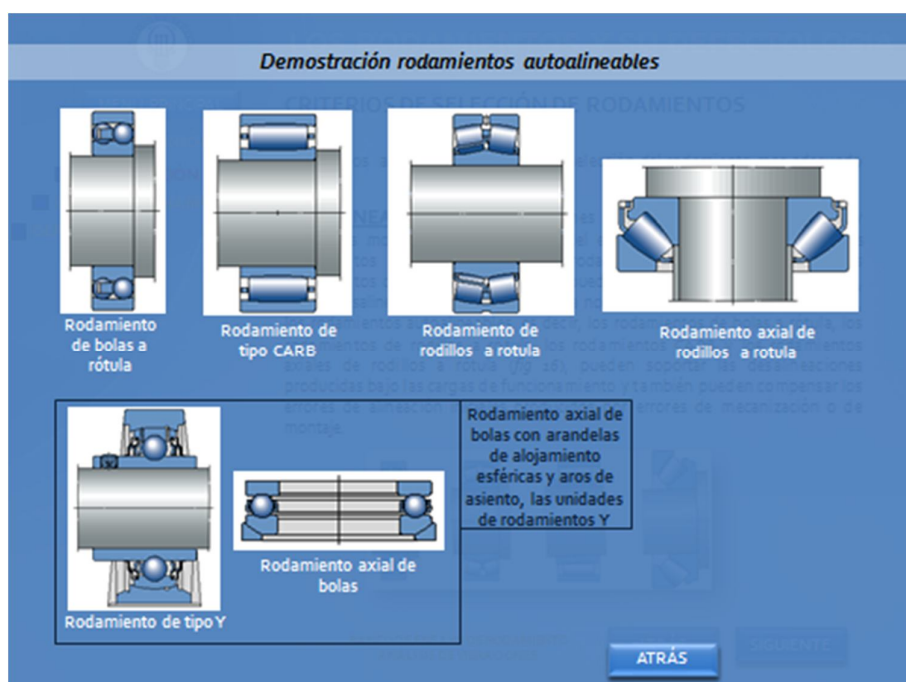
DESALINEACION: Las desalineaciones angulares se pueden deber a muy diferentes motivos, como la flexión del eje, errores de ejecución, etc. Los rodamientos rígidos, es decir, los rodamientos rígidos de bolas y los rodamientos de rodillos cilíndricos, no pueden soportar ninguna desalineación, o sólo desalineaciones muy pequeñas, a no ser que se fueren. Por otra parte, los rodamientos autoalineables, es decir, los rodamientos de bolas a rótula, los rodamientos de rodillos a rótula, los rodamientos CARB y los rodamientos axiales de rodillos a rótula (*fig. inferior*), pueden soportar las desalineaciones producidas bajo las cargas de funcionamiento y también pueden compensar los errores de alineación iniciales producidos por errores de mecanización o de montaje.



Haz clic en la imagen para ver demostración de funcionamiento.

BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES

ATRÁS
SIGUIENTE





MENÚ PRINCIPAL

- INTRODUCCIÓN
- CLASIFICACIÓN
- KINÉTICA Y DINÁMICA
- DEFECTOLOGÍA



LOS RODAMIENTOS Y SU DEFECTOLOGÍA

CRITERIOS DE SELECCIÓN DE RODAMIENTOS

Parámetros a tener en cuenta, para la selección del rodamiento mas adecuado son:

FUNCIONAMIENTO SILENCIOSO: En ciertas aplicaciones, como pequeños motores para electrodomésticos o equipos de oficina, el ruido producido durante el funcionamiento es un factor importante y puede influir en la elección de un rodamiento. Los rodamientos rígidos de bolas, se suelen emplear en estas aplicaciones.

RIGIDEZ: La rigidez de un rodamiento se caracteriza por la magnitud de la deformación elástica (resiliencia) en el rodamiento bajo carga. Generalmente, esta deformación es muy pequeña y puede ser ignorada. En algunos casos, por ejemplo en los husillos para máquinas herramienta o en disposiciones de rodamientos de piñones, la rigidez es un factor importante. Debido al contacto entre los elementos rodantes y los caminos de rodadura, los rodamientos de rodillos, por ejemplo, los de rodillos cilíndricos o los de rodillos cónicos, son más rígidos que los rodamientos de bolas. La rigidez de los rodamientos puede aumentarse aún más aplicando una precarga.

BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES

ATRÁS

SIGUIENTE



MENÚ PRINCIPAL

- INTRODUCCIÓN
- CLASIFICACIÓN
- KINÉTICA Y DINÁMICA
- DEFECTOLOGÍA



Haz clic en las imágenes para ver demostración de funcionamiento.

LOS RODAMIENTOS Y SU DEFECTOLOGÍA

CRITERIOS DE SELECCIÓN DE RODAMIENTOS

Parámetros a tener en cuenta, para la selección del rodamiento mas adecuado son:


DESPLAZAMIENTO AXIAL: Los ejes u otros componentes rotativos de la máquina están generalmente soportados por un rodamiento fijo y otro libre; ver la sección "reparto y combinación de cargas" que se puede encontrar en el apartado "cinética y dinámica" del MNL. Los rodamientos libres deberán permitir el desplazamiento axial del eje, de manera que los rodamientos no se sobrecarguen, por ejemplo, a causa de la dilatación térmica del eje. Entre los rodamientos más adecuados para una disposición libre, se encuentran los rodamientos de agujas y los rodamientos de rodillos cilíndricos de diseño NU y N (fig. izquierda sup.). Para las aplicaciones que requieren un desplazamiento axial relativamente grande y en las que el eje puede estar desalineado, un rodamiento de tipo toroidal autoalineable como los CARB de SKF (fig. izquierda inf) es la mejor elección como rodamiento libre.

BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES


ATRÁS

SIGUIENTE


Demostración rodamientos con desplazamiento axial




Rodamiento de agujas




Rodamiento de rodillos cilíndricos NU




Rodamiento de rodillos cilíndricos N



Rodamiento toroidal tipo CARB



Rodamiento rígido de bolas



Rodamiento de rodillos a rótula

Si se utilizan rodamientos no desarmables, por ejemplo, rodamientos rígidos de bolas como rodamientos libres, uno de los aros del rodamiento debe tener un ajuste libre

[ATRÁS](#)



MENU PRINCIPAL

- INTRODUCCIÓN
- CLASIFICACIÓN
- KINÉTICA Y DINÁMICA
- DEFECTOLOGÍA

LOS RODAMIENTOS Y SU DEFECTOLOGÍA

CRITERIOS DE SELECCIÓN DE RODAMIENTOS

Parámetros a tener en cuenta, para la selección del rodamiento mas adecuado son:

MONTAJE Y DESMONTAJE: Los rodamientos con agujero cilíndrico son más fáciles de montar y desmontar si son de diseño desarmable, especialmente si se necesitan ajustes de interferencia en ambos aros. Los rodamientos desarmables, también son preferibles cuando el rodamiento ha de ser montado y desmontado con frecuencia, ya que el aro con los elementos rodantes y la jaula, se puede montar de forma independiente del otro aro (*fig. inferior*).

Los rodamientos con agujero cónico se pueden montar fácilmente sobre un eje cónico o en el asiento de un eje cilíndrico usando un manguito de fijación o de desmontaje (*fig. izquierda*).





[ATRÁS](#)



MENÚ PRINCIPAL

- INTRODUCCIÓN
- **CLASIFICACIÓN**
- KINÉTICA Y DINÁMICA
- DEFECTOLOGÍA



LOS RODAMIENTOS Y SU DEFECTOLOGIA

CLASIFICACIÓN DE LOS RODAMIENTOS

SEGÚN DIRECCIÓN DE LA CARGA: RADIALES

Rodamientos para cargas radiales. Pueden soportar preferentemente cargas dirigidas en la dirección perpendicular al eje de rotación.





La fuerza transmitida desde el eje, se transfiere de forma perpendicular al mismo, desde el anillo interior atravesando el elemento rodante, hasta la pista exterior o viceversa.

BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES

SIGUIENTE



MENÚ PRINCIPAL

- INTRODUCCIÓN
- **CLASIFICACIÓN**
- KINÉTICA Y DINÁMICA
- DEFECTOLOGÍA



LOS RODAMIENTOS Y SU DEFECTOLOGIA

CLASIFICACIÓN DE LOS RODAMIENTOS

SEGÚN DIRECCIÓN DE LA CARGA: RADIALES

Rodamientos para cargas radiales. Pueden soportar preferentemente cargas dirigidas en la dirección perpendicular al eje de rotación.





Los rodamientos de rodillos cilíndricos, de agujas y toroidales solo soportan cargas puramente axiales, sin embargo los rodamientos rígidos de bolas pueden soportar cargas axiales, aunque menores, de entorno a 0.25-0.5 de su capacidad de carga estática (C_0), una carga axial mayor supondría una importante reducción de vida útil.

BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES

ATRÁS

MENÚ PRINCIPAL

- INTRODUCCIÓN
- **CLASIFICACIÓN**
- KINÉTICA Y DINÁMICA
- DEFECTOLOGÍA

LOS RODAMIENTOS Y SU DEFECTOLOGÍA

CLASIFICACIÓN DE LOS RODAMIENTOS

SEGÚN DIRECCIÓN DE LA CARGA: AXIALES

Son aquellos que están diseñados para resistir cargas en la misma dirección del eje. Constan en forma general de tres piezas: Un aro superior, un aro inferior y un elemento rodante con algún tipo de separador. Por ejemplo, pensemos en un carrusel. El peso total de esta máquina actúa verticalmente hacia el suelo y debe rotar en torno a un eje vertical al suelo, en esta aplicación debe utilizarse un rodamiento axial de gran diámetro, cuyo aro superior sostenga al carrusel y cuyo aro inferior se apoye en el suelo.





BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES

[PARA CONTINUAR](#)

MENÚ PRINCIPAL

- INTRODUCCIÓN
- **CLASIFICACIÓN**
- KINÉTICA Y DINÁMICA
- DEFECTOLOGÍA

LOS RODAMIENTOS Y SU DEFECTOLOGÍA

CLASIFICACIÓN DE LOS RODAMIENTOS

SEGÚN DIRECCIÓN DE LA CARGA: AXIALES

Dentro de los rodamientos para cargas axiales. Podemos encontrar varios tipos según los elementos rodantes, o si son de simple o doble efecto, estos últimos pueden soportar cargas en ambos sentidos.






Los rodamientos axiales pueden soportar cargas cuya componente sea puramente axial, para aplicaciones con parte de carga radial habrá que recurrir a rodamientos axiales como los de rodillos a rótula (fig. inf.)

BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES

[VOLVER](#)



MENÚ PRINCIPAL

- INTRODUCCIÓN
- **CLASIFICACIÓN**
- KINÉTICA Y DINÁMICA
- DEFECTOLOGÍA




LOS RODAMIENTOS Y SU DEFECTOLOGIA

CLASIFICACIÓN DE LOS RODAMIENTOS

SEGÚN DIRECCIÓN DE LA CARGA: MIXTAS

O también llamados de contacto angular, son una mezcla de los casos anteriores, también los podríamos considerar radiales o axiales, pero con cierta capacidad para la transmisión de esfuerzos en otras direcciones. Normalmente se basan en un rodamiento similar al radial con un diseño especial de los aros exterior e interior para soportar cargas axiales mayores que un rodamiento radial simple. Sus aplicaciones son muy amplias, debido a que un eje siempre puede desarrollar cargas eventuales en una dirección inesperada y debido al ahorro que se genera al colocar un solo





BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES

PARA CONTINUAR >



MENÚ PRINCIPAL

- INTRODUCCIÓN
- **CLASIFICACIÓN**
- KINÉTICA Y DINÁMICA
- DEFECTOLOGÍA




LOS RODAMIENTOS Y SU DEFECTOLOGIA

CLASIFICACIÓN DE LOS RODAMIENTOS

SEGÚN DIRECCIÓN DE LA CARGA: MIXTAS

O también llamados de contacto angular, son una mezcla de los casos anteriores, también los podríamos considerar radiales o axiales, pero con cierta capacidad para la transmisión de esfuerzos en otras direcciones. Normalmente se basan en un rodamiento similar al radial con un diseño especial de los aros exterior e interior para soportar cargas axiales mayores que un rodamiento radial simple. Sus aplicaciones son muy amplias, debido a que un eje siempre puede desarrollar cargas eventuales en una dirección inesperada y debido al ahorro que se genera al colocar un solo





BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES

VOLVER

LOS RODAMIENTOS Y SU DEFECTOLOGIA

MENÚ PRINCIPAL

- INTRODUCCIÓN
- **CLASIFICACIÓN**
- KINÉTICA Y DINÁMICA
- DEFECTOLOGIA

CLASIFICACIÓN DE LOS RODAMIENTOS

Cada tipo de rodamiento presenta propiedades características que dependen de su diseño y que lo hacen más o menos adecuado para una aplicación determinada.

SEGÚN LA DIRECCIÓN DE LA CARGA

RODAMIENTOS RÍGIDOS

RODAMIENTOS ROTULADOS

SEGÚN LOS ELEMENTOS RODANTES

RODAMIENTOS ESPECIALES

BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES

ATRÁS



LOS RODAMIENTOS Y SU DEFECTOLOGIA

MENÚ PRINCIPAL

- INTRODUCCIÓN
- **CLASIFICACIÓN**
- KINÉTICA Y DINÁMICA
- DEFECTOLOGIA

CLASIFICACIÓN DE LOS RODAMIENTOS

Cada tipo de rodamiento presenta propiedades características que dependen de su diseño y que lo hacen más o menos adecuado para una aplicación determinada.

SEGÚN LA RIGIDEZ

RODAMIENTOS RÍGIDOS

RODAMIENTOS ROTULADOS

BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES





MENÚ PRINCIPAL

- INTRODUCCIÓN
- **CLASIFICACIÓN**
- KINÉTICA Y DINÁMICA
- DEFECTOLOGÍA

LOS RODAMIENTOS Y SU DEFECTOLOGIA

CLASIFICACIÓN DE LOS RODAMIENTOS

SEGÚN LA RIGIDEZ: RÍGIDOS

Son aquellos que no aceptan desalineamientos del eje. Ante un desalineamiento se generan cargas que pueden dañar definitivamente el rodamiento.



BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES

[VOLVER](#)



MENÚ PRINCIPAL

- INTRODUCCIÓN
- **CLASIFICACIÓN**
- KINÉTICA Y DINÁMICA
- DEFECTOLOGÍA

LOS RODAMIENTOS Y SU DEFECTOLOGIA

CLASIFICACIÓN DE LOS RODAMIENTOS

SEGÚN LA RIGIDEZ: ROTULADOS

Son aquellos que, por un diseño especial de los aros, permiten que el eje gire algunos grados sin desarmar el rodamiento. Esta característica se logra con una pista de rodadura esférica que permite a las bolas o barriletes desplazarse para acomodarse al desalineamiento del eje. Son muy utilizados en maquinaria pesada debido a la necesidad de prevenir daños frente a las deformaciones de los ejes, cargas provocadas por dilataciones térmicas y cargas dinámicas.




Haz clic en la imagen para ver demostración de funcionamiento.

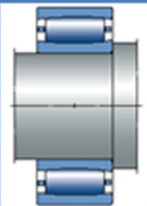
BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES

[VOLVER](#)

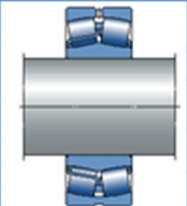
Demostración rodamientos Rotulados o Autoalineables



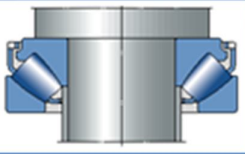
Rodamiento de bolas a rótula



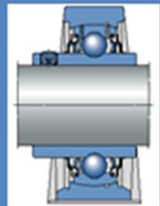
Rodamiento de tipo CARB




Rodamiento de rodillos a rótula



Rodamiento axial de rodillos a rótula



Rodamiento de tipo Y



Rodamiento axial de bolas

Rodamiento axial de bolas con arandelas de alojamiento esféricas y aros de asiento, las unidades de rodamientos Y

[ATRÁS](#)



MENÚ PRINCIPAL

- INTRODUCCIÓN
- **CLASIFICACIÓN**
- CINÉTICA Y DINÁMICA
- DEFECTOLOGÍA

LOS RODAMIENTOS Y SU DEFECTOLOGIA

CLASIFICACIÓN DE LOS RODAMIENTOS

Cada tipo de rodamiento presenta propiedades características que dependen de su diseño y que lo hacen más o menos adecuado para una aplicación determinada.

SEGUN LA DIRECCIÓN DE LA CARGA

RODAMIENTOS DE BOLAS

RODAMIENTOS DE RODILLOS

SEGUN LOS ELEMENTOS RODANTES

RODAMIENTOS DE AGUJAS

RODAMIENTOS ESPECIALES



BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES

[ATRÁS](#)



MENÚ PRINCIPAL

- INTRODUCCIÓN
- **CLASIFICACIÓN**
- KINÉTICA Y DINÁMICA
- DEFECTOLOGÍA

LOS RODAMIENTOS Y SU DEFECTOLOGIA

CLASIFICACIÓN DE LOS RODAMIENTOS

SEGÚN ELEMENTOS RODANTES: BOLAS

Son usados en una gran variedad de aplicaciones. Son fáciles de diseñar, no separables, capaces de operar en altas e incluso muy altas velocidades y requieren poca atención o mantenimiento en servicio. Estas características, unidas a su ventaja de precio, hacen a estos rodamientos los más populares de todos los rodamientos.




BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES

 PARA CONTINUAR



MENÚ PRINCIPAL

- INTRODUCCIÓN
- **CLASIFICACIÓN**
- KINÉTICA Y DINÁMICA
- DEFECTOLOGÍA

LOS RODAMIENTOS Y SU DEFECTOLOGIA

CLASIFICACIÓN DE LOS RODAMIENTOS

SEGÚN ELEMENTOS RODANTES: BOLAS

Los más utilizados son:

- **Rodamientos rígidos de 1 hilera de bolas:**
 - Versátiles y de diseño sencillo.
 - No desarmables.
 - Aptos para velocidades muy altas.
 - Permiten cargas axiales bidireccionales.
 - Permiten cargas mixtas incluso a altas velocidades.
- **Rodamientos rígidos de 2 hileras de bolas:**
 - Mismas características que los de 1 hilera.
 - Mayor capacidad de carga.



Haz clic en la imagen para comenzar el video.







BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES

 PARA CONTINUAR

MENÚ PRINCIPAL
■ INTRODUCCIÓN
■ **CLASIFICACIÓN**
■ KINÉTICA Y DINÁMICA
■ DEFECTOLOGÍA

LOS RODAMIENTOS Y SU DEFECTOLOGÍA

CLASIFICACIÓN DE LOS RODAMIENTOS

SEGÚN ELEMENTOS RODANTES: BOLAS

Los más utilizados son:

- **Rodamientos rígidos de 1 hilera de bolas con escote de llenado:**
Frente a los de 1 hilera estándar estos:
 - Pueden incorporar más bolas y de mayor tamaño.
 - Más capacidad de carga radial.
 - Capacidad de carga axial limitada.
 - No son aptos para velocidades tan elevadas.



Escote de llenado.



Haz clic en la imagen para comenzar el video.

- **Rodamientos de 1 hilera de bolas con contacto angular:**
En general, los rodamientos de bolas con contacto angular tienen los caminos de rodadura de sus aros desplazados entre sí. Esto quiere decir que han sido diseñados para soportar cargas combinadas, es decir, cargas radiales y axiales simultáneas. La capacidad de carga axial de los rodamientos de bolas con contacto angular se incrementa al incrementar el ángulo de contacto.

BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES



MENÚ PRINCIPAL
■ INTRODUCCIÓN
■ **CLASIFICACIÓN**
■ KINÉTICA Y DINÁMICA
■ DEFECTOLOGÍA

LOS RODAMIENTOS Y SU DEFECTOLOGÍA

CLASIFICACIÓN DE LOS RODAMIENTOS

SEGÚN ELEMENTOS RODANTES: BOLAS

Los más utilizados son:

- **Rodamientos de 1 hilera de bolas con contacto angular:**
 - Pueden soportar cargas axiales en 1 solo sentido.
 - Capacidad de carga relativamente alta.
 - No desarmables.



- **Rodamientos de 2 hilera de bolas con contacto angular:**
Frente a los de 1 hilera con contacto angular, estos tienen una mucha mayor capacidad de carga.



BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES





MENÚ PRINCIPAL

- INTRODUCCIÓN
- **CLASIFICACIÓN**
- KINÉTICA Y DINÁMICA
- DEFECTOLOGÍA

LOS RODAMIENTOS Y SU DEFECTOLOGÍA

CLASIFICACIÓN DE LOS RODAMIENTOS

SEGÚN ELEMENTOS RODANTES: BOLAS

Los más utilizados son:

- **Rodamientos de bolas con 4 puntos de contacto:**

Los rodamientos de bolas con cuatro puntos de contacto son rodamientos radiales de una hilera de bolas con contacto angular con caminos de rodadura diseñados para soportar cargas axiales en ambos sentidos. Estos rodamientos tienen un ángulo de contacto de 35° o 45° . El aro interior está partido permitiendo la incorporación de un gran número de bolas al rodamiento, dotándole de una gran capacidad de carga. Los rodamientos son de diseño desmontable, es decir, el aro exterior con las bolas y la jaula pueden montarse por separado de las dos mitades del aro interior.



BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES





MENÚ PRINCIPAL

- INTRODUCCIÓN
- **CLASIFICACIÓN**
- KINÉTICA Y DINÁMICA
- DEFECTOLOGÍA

LOS RODAMIENTOS Y SU DEFECTOLOGÍA

CLASIFICACIÓN DE LOS RODAMIENTOS

SEGÚN ELEMENTOS RODANTES: BOLAS

Los más utilizados son:

- **Rodamientos de bolas a rótula:**

Los rodamientos de bolas a rótula tienen dos hileras de bolas que apoyan sobre un camino de rodadura esférico en el aro exterior, permitiendo desalineaciones angulares del eje respecto al soporte. Son utilizados en aplicaciones donde pueden producirse desalineaciones considerables, por ejemplo, por efecto de las dilataciones, de flexiones en el eje o por el modo de construcción. De esta forma, liberan dos grados de libertad correspondientes al giro del aro interior respecto a los dos ejes geométricos perpendiculares al eje del aro exterior. Este tipo de rodamientos tienen menor fricción que otros tipos de rodamientos, por lo que se calientan menos en las mismas condiciones de carga y velocidad, siendo aptos para mayores velocidades.



BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES



MENÚ PRINCIPAL
■ INTRODUCCIÓN
■ **CLASIFICACIÓN**
■ KINÉTICA Y DINÁMICA
■ DEFECTOLOGÍA

LOS RODAMIENTOS Y SU DEFECTOLOGIA



CLASIFICACIÓN DE LOS RODAMIENTOS

SEGÚN ELEMENTOS RODANTES: BOLAS

Los más utilizados son:

- **Rodamientos axiales de bolas de simple efecto:**

El rodamiento axial de bolas de simple efecto consta de una hilera de bolas entre dos aros, uno de los cuales, el aro fijo al eje, es de asiento plano, mientras que el otro, el aro apoyado en el soporte, puede tener asiento plano o esférico. En este último caso, el rodamiento se apoya en una contraplaca. Los rodamientos con asiento plano deberían, sin duda, preferirse para la mayoría de las aplicaciones, pero los de asiento esférico son muy útiles en ciertos casos, para compensar pequeñas inexactitudes de fabricación de los soportes. El rodamiento está destinado a resistir solamente carga axial en una dirección.



Haz clic en la imagen para comenzar el video.

BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES

VOLVER

MENÚ PRINCIPAL
■ INTRODUCCIÓN
■ **CLASIFICACIÓN**
■ KINÉTICA Y DINÁMICA
■ DEFECTOLOGÍA

LOS RODAMIENTOS Y SU DEFECTOLOGIA

CLASIFICACIÓN DE LOS RODAMIENTOS

SEGÚN ELEMENTOS RODANTES: RODILLOS

Los rodamientos que integran rodillos como elementos rodantes, son apropiados para aplicaciones que deben soportar pesadas cargas axiales. Además, son insensibles a los choques, son fuertes y requieren poco espacio axial.



BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES

PARA CONTINUAR

MENÚ PRINCIPAL

- INTRODUCCIÓN
- **CLASIFICACIÓN**
- KINÉTICA Y DINÁMICA
- DEFECTOLOGÍA

LOS RODAMIENTOS Y SU DEFECTOLOGIA

CLASIFICACIÓN DE LOS RODAMIENTOS

SEGÚN ELEMENTOS RODANTES: RODILLOS

Los más utilizados son:

- **Rodamientos de rodillos cilíndricos:**
 - Soportan grandes cargas radiales.
 - Poca capacidad de carga axial.
 - Fuertes y alta resistencia a impactos.
 - Necesitan poco espacio axial.

Guiados por pestañas, dependiendo de la disposición de estas tendremos:

- **Tipo NU:** 2 pestañas aro exterior. Sólo cargas radiales, desmontables y permiten desp. axiales relativos del alojamiento y eje en ambos sentidos.
- **Tipo N:** 2 pestañas aro interior. Similar al NU.
- **Tipo NJ:** 2 pestañas aro exterior 1 en interior. Puede utilizarse para la fijación axial del eje en un sentido.
- **Tipo NUP:** 2 pestañas integrales en exterior 1 pestaña integral y otra no integral en interior.

NU

N

NJ

NUP

Haz clic en la imagen para comenzar el video.

BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES

PARA CONTINUAR

MENÚ PRINCIPAL

- INTRODUCCIÓN
- **CLASIFICACIÓN**
- KINÉTICA Y DINÁMICA
- DEFECTOLOGÍA

LOS RODAMIENTOS Y SU DEFECTOLOGIA

CLASIFICACIÓN DE LOS RODAMIENTOS

SEGÚN ELEMENTOS RODANTES: RODILLOS

Los más utilizados son:

- **Rodamientos de rodillos cilíndricos de empuje:**
 - Soportan grandes cargas axiales.
 - No soportan cargas radiales.
 - Fuertes y alta resistencia a impactos.
 - Necesitan poco espacio axial.

Guiados por pestañas,

- Con o sin jaula (sin jaula, tienen + cap. Carga y - velocidad)

- **Rodamientos de rodillos cónicos:**

El rodamiento de rodillos cónicos, debido a la posición oblicua de los rodillos y caminos de rodadura:

- Resiste cargas radiales y axiales simultáneas.
- Angulo de fabricación variable, para mayor capacidad de carga axial.
- Carga axial en un solo sentido.
- Son desmontables.

Haz clic en la imagen para comenzar el video.

BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES

PARA CONTINUAR

MENÚ PRINCIPAL
■ INTRODUCCIÓN
■ **CLASIFICACIÓN**
■ KINÉTICA Y DINÁMICA
■ DEFECTOLOGÍA

LOS RODAMIENTOS Y SU DEFECTOLOGÍA

CLASIFICACIÓN DE LOS RODAMIENTOS

SEGÚN ELEMENTOS RODANTES: RODILLOS

Los más utilizados son:

- **Rodamientos axiales de rodillos a rótula:**
Tiene una hilera de rodillos situados oblicuamente, guiados por una pestaña del aro fijo al eje, giran sobre la superficie esférica del aro apoyado en el soporte.
 - Gran capacidad de carga a alta velocidad.
 - Pueden resistir cargas radiales.
 - Alineamiento axial automático.
- **Rodamientos de radiales de rodillos a rótula:**
El rodamiento de rodillos a rótula tiene dos hileras de rodillos con camino esférico común en el aro exterior.
 - Gran capacidad de carga radial.
 - Buena capacidad carga axial en los 2 sentidos.
 - Alineación automática.



Haz clic en la imagen para comenzar el video.

BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES

VOLVER

MENÚ PRINCIPAL
■ INTRODUCCIÓN
■ **CLASIFICACIÓN**
■ KINÉTICA Y DINÁMICA
■ DEFECTOLOGÍA

LOS RODAMIENTOS Y SU DEFECTOLOGÍA

CLASIFICACIÓN DE LOS RODAMIENTOS

SEGÚN ELEMENTOS RODANTES: AGUJAS

Son rodamientos con rodillos cilíndricos muy delgados y largos en relación con su menor diámetro. A pesar de su pequeña sección, estos rodamientos tienen una gran capacidad de carga y son eminentemente apropiados para las aplicaciones donde el espacio radial es limitado.



BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES

PARA CONTINUAR



MENÚ PRINCIPAL

- INTRODUCCIÓN
- **CLASIFICACIÓN**
- KINÉTICA Y DINÁMICA
- DEFECTOLOGÍA



Casquillo de agujas con fondo.

LOS RODAMIENTOS Y SU DEFECTOLOGÍA

CLASIFICACIÓN DE LOS RODAMIENTOS

SEGÚN ELEMENTOS RODANTES: AGUJAS

Los más utilizados son:

- **Rodamientos de corona de agujas:**
 - Alta rigidez y gran capacidad de carga.
 - Ocupan un espacio radial mínimo y sin capacidad de carga axial.
 - El eje y el alojamiento deben servir como caminos de rodadura.
 - Diseño sencillo y robusto.
 - Buen rendimiento.
- **Rodamientos de casquillos de agujas:**

Los casquillos de agujas son rodamientos de agujas con un aro exterior delgado embutido con fondo o sin fondo. Poco espacio radial y elevada capacidad de carga radial, si tiene fondo admite pequeñas cargas axiales. Usados cuando el agujero del soporte no sirve de camino de rodadura, pero necesita de rodamientos muy compactos y económicos.




Has clic en la imagen para comenzar el video.

BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES

 PARA CONTINUAR >



MENÚ PRINCIPAL

- INTRODUCCIÓN
- **CLASIFICACIÓN**
- KINÉTICA Y DINÁMICA
- DEFECTOLOGÍA

LOS RODAMIENTOS Y SU DEFECTOLOGÍA

CLASIFICACIÓN DE LOS RODAMIENTOS

SEGÚN ELEMENTOS RODANTES: AGUJAS

Los más utilizados son:

- **Rodamientos de agujas con aros mecanizados:**
 - Baja sección transversal y alta capacidad radial.
 - Con o sin aro interior. Dependiendo si se puede rectificar y templar el eje, ocupando menor espacio.
 - Gran precisión de funcionamiento.
 - No soportan carga axial.
 - No admite grandes desalineamientos axiales.

- **Rodamientos de agujas autoalineables:**

Tienen un aro exterior con superficie exterior esférica convexa. Sobre el aro exterior hay instalados dos aros de asiento de polímero con una superficie interior esférica cóncava que se introduce en un manguito de chapa de acero embutido, permitiendo que el rodamiento se alinee por sí mismo. Los rodamientos de agujas a rótula son por lo tanto insensibles a la desalineación estática del eje respecto al soporte.




BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES

 PARA CONTINUAR >

MENÚ PRINCIPAL
■ INTRODUCCIÓN
■ **CLASIFICACIÓN**
■ KINÉTICA Y DINÁMICA
■ DEFECTOLOGÍA

LOS RODAMIENTOS Y SU DEFECTOLOGÍA

CLASIFICACIÓN DE LOS RODAMIENTOS

SEGÚN ELEMENTOS RODANTES: AGUJAS

Los más utilizados son:

- **Rodamientos de agujas de empuje o axiales:**
También llamados *coronas axiales de agujas*, pueden soportar pesadas cargas axiales en un solo sentido, son insensibles a las cargas de choque y proveen aplicaciones de rodamientos duros, que requieren un mínimo de espacio axial.
Para soportar cargas en 2 sentidos existen rodamientos axiales de agujas de doble efecto, con centrado interno y externo.

Corona axial de agujas de doble efecto con centrado interior.

Corona axial de agujas de doble efecto con centrado exterior.

BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES

VOLVER

MENÚ PRINCIPAL
■ INTRODUCCIÓN
■ **CLASIFICACIÓN**
■ KINÉTICA Y DINÁMICA
■ DEFECTOLOGÍA

LOS RODAMIENTOS Y SU DEFECTOLOGÍA

CLASIFICACIÓN DE LOS RODAMIENTOS

RODAMIENTOS PARA CONDICIONES ESPECIALES

- **Rodamientos de tipo CARB:**
Es un rodamiento de tipo de rodamiento radial de rodillos con una forma especial. Diseñado por el fabricante SKF. Combina la capacidad de autoalineación del rodamiento de rodillos a rótula con la libertad de desplazamiento axial de los rodamientos de rodillos cilíndricos. También puede tener la reducida sección transversal normalmente asociada con los rodamientos de agujas.

Haz clic en la imagen para comenzar el video.

BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES

PARA CONTINUAR



MENÚ PRINCIPAL

- INTRODUCCIÓN
- **CLASIFICACIÓN**
- KINÉTICA Y DINÁMICA
- DEFECTOLOGÍA

LOS RODAMIENTOS Y SU DEFECTOLOGIA

CLASIFICACIÓN DE LOS RODAMIENTOS

RODAMIENTOS PARA CONDICIONES ESPECIALES

*** Rodamientos HÍBRIDOS:**

Los aros de los rodamientos híbridos están hechos de acero para rodamientos y los elementos rodantes de nitruro de silicio (Si_3N_4).

- El Si_3N_4 es un excelente aislante eléctrico, evitando daños en pistas por corriente eléctrica.
- Mayor velocidad que los fabricados solo en acero.
- Mayor vida útil en la mayoría de los casos.
- Densidad Si_3N_4 es el 40% del acero, lo que implica menor inercia de los elementos rodantes y por lo tanto tensiones de trabajo menores.
- El Si_3N_4 tiene mayor dureza y elasticidad, con lo que se adaptan mejor a entornos contaminados.




BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES

 PARA CONTINUAR



MENÚ PRINCIPAL

- INTRODUCCIÓN
- **CLASIFICACIÓN**
- KINÉTICA Y DINÁMICA
- DEFECTOLOGÍA

LOS RODAMIENTOS Y SU DEFECTOLOGIA

CLASIFICACIÓN DE LOS RODAMIENTOS

RODAMIENTOS PARA CONDICIONES ESPECIALES

*** Rodamientos con AISLANTE:**

Los rodamientos en motores eléctricos, generadores o equipos afines corren el riesgo de ser afectados por el paso de una corriente eléctrica, para solucionarlo integrando a los rodamientos la función de aislamiento contra la electricidad dentro del rodamiento o en su parte externa.

Estos rodamientos tienen una capa nominal de óxido de aluminio de $100 \mu\text{m}$ de grosor en las superficies exteriores del aro exterior o interior, que puede soportar tensiones de hasta 1.000 V CC .



BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES

 PARA CONTINUAR

MENÚ PRINCIPAL
■ INTRODUCCIÓN
■ **CLASIFICACIÓN**
■ KINÉTICA Y DINÁMICA
■ DEFECTOLOGÍA

LOS RODAMIENTOS Y SU DEFECTOLOGÍA

CLASIFICACIÓN DE LOS RODAMIENTOS

RODAMIENTOS PARA CONDICIONES ESPECIALES

*** Rodamientos para ALTAS/BAJAS TEMPERATURAS:**
Para aplicaciones a temperaturas extremas o diferencias de temperatura muy grandes, se emplean rodamientos con ciertas características especiales:

- De -20 a $+150^{\circ}\text{C}$. Rodamiento abierto, con jaula de acero y lubricado con una pasta para altas temperaturas. Superficies del rodamiento están fosfatadas al manganeso evitando la corrosión.
- De -40 a $+250^{\circ}\text{C}$, protección adicional con placas a ambos lados.
- De -150 a $+350^{\circ}\text{C}$. Equipados con placas de protección y jaula de segmentos de grafito. El grafito lubrica el rodamiento.
- De -150 a $+350^{\circ}\text{C}$. Equipado con placas de protección y jaula en forma de corona enteramente de grafito, que soportar cargas considerablemente mayores que la jaula de segmentos de grafito.



BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES

PARA CONTINUAR

MENÚ PRINCIPAL
■ INTRODUCCIÓN
■ **CLASIFICACIÓN**
■ KINÉTICA Y DINÁMICA
■ DEFECTOLOGÍA

LOS RODAMIENTOS Y SU DEFECTOLOGÍA

CLASIFICACIÓN DE LOS RODAMIENTOS

RODAMIENTOS PARA CONDICIONES ESPECIALES

*** Rodamientos con SOLIDOIL:**
Incorporan un sistema innovador de lubricación, que mantiene lubricado al rodamiento de por vida. Creado para aplicaciones extremadamente exigentes, donde su re-lubricación resulta difícil y con altos niveles de contaminación.

La jaula y los elementos rodantes son convencionales pero están rodeados por una matriz polimérica, con una estructura microporosa saturada de aceite que libera gradualmente. Esto presenta ventajas adicionales:

- Lubricación uniforme e independiente de T° .
- Muy bajo par de arranque a bajas Temperaturas.
- Matriz evita entrada de polvo, humedad, etc.
- Ideales en aplicaciones con altas aceleraciones.



BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES

PARA CONTINUAR



MENÚ PRINCIPAL

- INTRODUCCIÓN
- **CLASIFICACIÓN**
- KINÉTICA Y DINÁMICA
- DEFECTOLOGÍA



LOS RODAMIENTOS Y SU DEFECTOLOGIA

CLASIFICACIÓN DE LOS RODAMIENTOS

RODAMIENTOS PARA CONDICIONES ESPECIALES

• **Rodamientos de material POLIMÉRICO:**
 Los rodamientos de bolas de polímero constan de: Aros de polímero; Bolas hechas de acero inoxidable, vidrio, polímero u otros materiales y una jaula de polímero. La carga y la velocidad máxima que puede soportar son muy inferiores a las de los rodamientos convencionales. Pero tienen ventajas frente a estos:

- Resistencia a corrosión y sustancias químicas.
- Baja fricción y resistentes a desgaste y fatiga.
- Autolubricados, no precisan lubricante.
- Elevada resistencia específica (Resistencia/peso).
- Alta estabilidad dimensional.
- Funcionamiento silencioso.
- Aislante eléctrico.
- Costes del ciclo de vida bajos.
- Buenas propiedades amortiguadoras.



Haz clic en la imagen para comenzar el video.

BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES



PARA CONTINUAR



MENÚ PRINCIPAL

- INTRODUCCIÓN
- **CLASIFICACIÓN**
- KINÉTICA Y DINÁMICA
- DEFECTOLOGÍA

LOS RODAMIENTOS Y SU DEFECTOLOGIA

CLASIFICACIÓN DE LOS RODAMIENTOS

RODAMIENTOS PARA CONDICIONES ESPECIALES

• **Rodamientos con SENSORES:**
 Incorporan sensores que captan información sobre el estado de funcionamiento de los componentes que giran o se desplazan axialmente como puede ser: El número de revoluciones; la velocidad; la dirección de giro; la posición relativa/recuento; la aceleración o deceleración.
 Suelen constar de un rodamiento rígido de bolas, una unidad sensora activa protegida y un aro impulsor formando todo ello una unidad integral. Se diseñan especialmente para funcionar como codificadores incrementales para el control de motores y/o máquinas. Especialmente adaptadas para ajustarse a motores asíncronos, y permiten una codificación compacta y fiable para su control más exigente.



BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES

VOLVER

MENÚ PRINCIPAL
■ INTRODUCCIÓN
■ CLASIFICACIÓN
■ CINÉTICA Y DINÁMICA
■ DEFECTOLOGÍA

LOS RODAMIENTOS Y SU DEFECTOLOGÍA

DEFECTOLOGÍA EN RODAMIENTOS

INTRODUCCIÓN

Los rodamientos se encuentran entre los componentes más importantes en la inmensa mayoría de las máquinas, exigiéndose de ellos una gran capacidad de carga y fiabilidad. Sin embargo, no poseen una vida infinita y, aunque si son c, antes o después, terminan rompiéndose pero si son correctamente seleccionados, lubricados apropiadamente y no se usan de forma abusiva pueden durar tanto tiempo como las máquinas en las que están instalados. Esto último no siempre es así ya que, por diversos motivos, se producen averías en ellos que obligan a su re-emplazamiento.

Cada uno de los factores que producen averías origina su propio tipo de fallo e imprimen su particular huella en el rodamiento. Por ello, en la mayoría de los casos, examinando un rodamiento averiado es posible formar una opinión sobre la causa del fallo y adoptar la medida precisa para evitar su repetición.

BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES

PARA CONTINUAR

MENÚ PRINCIPAL
■ INTRODUCCIÓN
■ CLASIFICACIÓN
■ CINÉTICA Y DINÁMICA
■ DEFECTOLOGÍA

LOS RODAMIENTOS Y SU DEFECTOLOGÍA

DEFECTOLOGÍA EN RODAMIENTOS

INTRODUCCIÓN

Incluso en las condiciones más favorables, un rodamiento no puede funcionar eternamente porque, antes o después, se producirá la fatiga del material. El tiempo que transcurre hasta que aparece el primer signo de fatiga es función del número de revoluciones a que es sometido el rodamiento y de la carga.

La gran mayoría de los rodamientos no alcanzan la vida nominal calculada. Esto puede ser debido a varias razones, que se muestran en el gráfico adjunto donde podemos ver las causas de fallo en rodamientos más habituales.

Causa de fallo	Porcentaje
lubricante inadecuado	20%
envejecimiento del lubricante	20%
falta de lubricante	15%
elección inapropiada del rodamiento (forma constructiva, tamaño, capacidad de carga)	10%
defectos de montaje	5%
daños consecuenciales	5%
contaminantes líquidos	5%
contaminantes sólidos	20%
defectos de material y de fabricación	<1%

BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES

ANTERIOR

PARA CONTINUAR



MENÚ PRINCIPAL

- INTRODUCCIÓN
- CLASIFICACIÓN
- CINÉTICA Y DINÁMICA
- **DEFECTOLOGÍA**

LOS RODAMIENTOS Y SU DEFECTOLOGÍA

DEFECTOLOGÍA EN RODAMIENTOS

Daños primarios y secundarios

Cada avería primitiva del rodamiento genera su propio deterioro característico. Este, conocido como daño primario, da lugar a daños secundarios que inducen al daño más grave: desconchado y rotura. Frecuentemente, un rodamiento averiado ostenta una combinación de daño inicial y daño secundario.

Los diferentes tipos de daños que se producen en los rodamientos se pueden clasificar de la siguiente manera:

Daño inicial o primario	Daño secundario
Desgaste	Desconchado (descascarillado)
Muecas	Roturas
Adherencia	
Fatiga superficial	
Corrosión	
Daño por corriente eléctrica	

BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES

ANTERIOR

PARA CONTINUAR



MENÚ PRINCIPAL

- INTRODUCCIÓN
- CLASIFICACIÓN
- CINÉTICA Y DINÁMICA
- **DEFECTOLOGÍA**

LOS RODAMIENTOS Y SU DEFECTOLOGÍA

DEFECTOLOGÍA EN RODAMIENTOS

DESGASTE

En condiciones normales, no existe desgaste apreciable en los rodamientos, aunque este puede producirse como resultado de varios factores adversos:

Desgaste producido por partículas abrasivas ocurre tanto en la superficie en deslizamiento, como en las superficies de los elementos rodantes. La cantidad de partículas abrasivas se incrementa, gradualmente, a medida que el material se va desprendiendo de los caminos de rodadura y de la jaula. Por lo que el desgaste se convierte en un proceso acelerado. Sin embargo no es necesario desechar un rodamientos ligeramente desgastados ya que pueden ser utilizados de nuevo después de una buena limpieza.

¿Cómo evitarlo? desembalar los rodamientos justo antes de ser montados, mantener limpio el taller y las herramientas, verificar y posiblemente mejorar la estanqueidad y utilizar siempre lubricante nuevo y limpio, limpiando los engrasadores y filtrando el aceite.



BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES

ANTERIOR

PARA CONTINUAR

MENÚ PRINCIPAL
■ INTRODUCCIÓN
■ CLASIFICACIÓN
■ CINÉTICA Y DINÁMICA
■ DEFECTOLOGÍA

LOS RODAMIENTOS Y SU DEFECTOLOGÍA

DEFECTOLOGÍA EN RODAMIENTOS

DESGASTE

En condiciones normales, no existe desgaste apreciable en los rodamientos, aunque este puede producirse como resultado de varios factores adversos:

Desgaste producido por lubricación inadecuada la falta de lubricante o el deterioro en sus propiedades, produce un contacto metálico entre los elementos rodantes y los caminos de rodadura. Los picos de rugosidad, remanentes del proceso de fabricación, se desprenden y, al mismo tiempo, se obtiene un cierto efecto de laminado. La fatiga superficial también puede surgir en esta etapa. Si el lubricante está completamente agotado la temperatura se elevará rápidamente, entonces el material templado se reviene. La temperatura puede llegar a ser tan alta como para producir el gripado del rodamiento.

¿Cómo evitarlo? Se debe comprobar que el lubricante llega al rodamiento y dar un re-lubricación más frecuente.

BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES

ANTERIOR

PARA CONTINUAR

MENÚ PRINCIPAL
■ INTRODUCCIÓN
■ CLASIFICACIÓN
■ CINÉTICA Y DINÁMICA
■ DEFECTOLOGÍA

LOS RODAMIENTOS Y SU DEFECTOLOGÍA

DEFECTOLOGÍA EN RODAMIENTOS

DESGASTE

En condiciones normales, no existe desgaste apreciable en los rodamientos, aunque este puede producirse como resultado de varios factores adversos:

Desgaste producido por vibración Si el rodamiento no gira no se forma la película de lubricante entre los elementos rodantes y los caminos de rodadura. La ausencia de esta película permite el contacto metálico y la vibración produce pequeños movimientos relativos entre los elementos rodantes y los aros. Como resultado de este movimiento, se rompen pequeñas partículas de la superficie y esto lleva a la formación de depresiones en los caminos de rodadura. Este deterioro es conocido como vibrocorrosión (falsa huella Brinell). Las bolas producen cavidades esféricas y los rodillos producen acanaladuras.

¿Cómo evitarlo? se debe asegurar el rodamiento durante el transporte mediante precarga radial. Proveer una base anti-vibratoria. Utilizar, si es posible, rodamientos de bolas en lugar de los de rodillos. Emplear lubricación por baño de aceite, si es posible.

BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES

ANTERIOR

PARA CONTINUAR



MENÚ PRINCIPAL

- INTRODUCCIÓN
- CLASIFICACIÓN
- CINÉTICA Y DINÁMICA
- **DEFECTOLOGÍA**



Haz clic en la imagen para saber más acerca de la Muecas producidas por defecto de montaje o sobrecarga.

LOS RODAMIENTOS Y SU DEFECTOLOGIA

DEFECTOLOGÍA EN RODAMIENTOS

MUESCAS

Los caminos de rodadura y los elementos rodantes, pueden llegar a presentar muescas si la presión de montaje está aplicada al aro equivocado, de forma que esta se transmite a través de los elementos rodantes, esto puede ser debido a:

Muecas producidas por defecto de montaje o sobrecarga. Los rodamientos de bolas son propensos a muescas si la presión es aplicada de tal modo que se transmita a través de las bolas durante las operaciones de montaje o desmontaje. Los rodamientos de bolas a rótula son particularmente susceptibles a deterioro en tales circunstancias. En cambio, los rodamientos de rodillos a rótula el deterioro sobreviene como adherencia y, posteriormente, si se incrementa la presión, llega a convertirse en una huella.

¿Cómo evitarlo? se debe aplicar la presión de montaje al aro con ajuste de interferencia y evitar sobrecargas o usar rodamientos con una mayor capacidad de carga estática.

BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTOS
ANÁLISIS DE VIBRACIONES

ANTERIOR

PARA CONTINUAR

MENÚ PRINCIPAL

- INTRODUCCIÓN
- CLASIFICACIÓN
- CINÉTICA Y DINÁMICA
- **DEFECTOLOGÍA**



Haz clic en la imagen para saber más acerca de la Muecas producidas por defecto de montaje o sobrecarga.

Detalles de muescas producidas por defecto de montaje o sobrecarga

DEFECTOLOGIA EN RODAMIENTOS



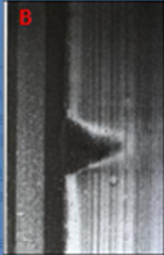

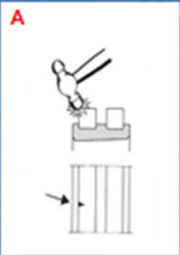
En la imagen podemos ver una arandela de un rodamiento axial de bolas sujeto a sobrecarga mientras no gira. Las muescas, estrechas y radialmente alineadas, no son esféricas como en los rodamientos radiales de bolas.

BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTOS
ANÁLISIS DE VIBRACIONES

VOLVER

SIGUIENTE

Detalles de muescas producidas por defecto de montaje o sobrecarga



En estas 3 imágenes vemos ejemplos de los resultados de una manipulación indebida. En un rodamiento de dos hileras de rodillos cilíndricos, un rodillo ha sufrido un impacto (fig. A). Una vista periférica del rodillo (fig. B) muestra dos muescas diametralmente opuestas. El rodillo, a su vez, ha marcado el camino de rodadura del aro interior (fig. C).

BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES

VOLVER

LOS RODAMIENTOS Y SU DEFECTOLOGÍA

DEFECTOLOGÍA EN RODAMIENTOS

MUESCAS

Los caminos de rodadura y los elementos rodantes, pueden llegar a presentar muescas si la presión de montaje está aplicada al aro equivocado, de forma que esta se transmite a través de los elementos rodantes, esto puede ser debido a:

Muescas producidas por partículas extrañas. Las partículas extrañas causan muescas cuando son arrolladas en los caminos de rodadura por los elementos rodantes. Las partículas que producen las muescas no tienen que ser de material duro ya que fragmentos delgados de papel e hilos desprendidos de algodón o de trapos usados para limpieza, pueden provocar esta avería. Las muescas causadas por estas partículas son en las mayorías de los casos, pequeñas y distribuidas por los caminos de rodadura.

¿Cómo evitarlo? se debe de observar bien la limpieza durante el montaje y usar lubricantes no contaminados.

BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES

ANTERIOR

PARA CONTINUAR



MENÚ PRINCIPAL

- INTRODUCCIÓN
- CLASIFICACIÓN
- CINÉTICA Y DINÁMICA
- DEFECTOLOGÍA



LOS RODAMIENTOS Y SU DEFECTOLOGIA

DEFECTOLOGÍA EN RODAMIENTOS

ADHERENCIAS

Se da cuando 2 superficies lubricadas deslizan entre sí, bajo carga y el material se transfiere de una a otra provocando un desgarre de las superficies. Pudiendo producir revenido. Esto produce concentraciones de fatiga localizadas que pueden originar agrietamiento o desconchado. Pudiendo producirse por:

Adherencia de extremos de rodillos y pestañas de guía. En rodamientos de rodillos cilíndricos y cónicos, y en rodamientos de rodillos a rótula con pestañas de guía, se puede producir adherencias sobre las caras de guía de las pestañas y los extremos de los rodillos. Esto se atribuye a lubricación insuficiente entre pestañas y rodillos. Ocurre cuando una carga axial fuerte actúa en un sentido durante mucho tiempo

¿Cómo evitarlo? Mediante un lubricante adecuado se pueden evitar en gran medida tales adherencias.

BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES

ANTERIOR

PARA CONTINUAR



MENÚ PRINCIPAL

- INTRODUCCIÓN
- CLASIFICACIÓN
- CINÉTICA Y DINÁMICA
- DEFECTOLOGÍA



LOS RODAMIENTOS Y SU DEFECTOLOGIA

DEFECTOLOGÍA EN RODAMIENTOS

ADHERENCIAS

Se da cuando 2 superficies lubricadas deslizan entre sí, bajo carga y el material se transfiere de una a otra provocando un desgarre de las superficies. Pudiendo producir revenido. Esto produce concentraciones de fatiga localizadas que pueden originar agrietamiento o desconchado. Pudiendo producirse por:

Adherencia por patinado de rodillos y caminos de rodadura. En ciertas circunstancias se pueden presentar adherencias sobre superficies de rodillos y en caminos de rodadura de rodamientos de rodillos cilíndricos y a rótula. Esto se produce al estar retardada la rotación de los rodillos en la zona sin carga, cuando éstos no son conducidos por los aros. Consecuentemente su velocidad de rotación es entonces menor que cuando están en la zona con carga. Los rodillos están sometidos a una rápida aceleración y el deslizamiento resultante es tan grande que puede producir adherencia.

¿Cómo evitarlo? Usando un lubricante más adecuado y reduciendo el juego interno del rodamiento.

BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES

ANTERIOR

PARA CONTINUAR

MENÚ PRINCIPAL

- INTRODUCCIÓN
- CLASIFICACIÓN
- CINÉTICA Y DINÁMICA
- **DEFECTOLOGÍA**



LOS RODAMIENTOS Y SU DEFECTOLOGIA

DEFECTOLOGÍA EN RODAMIENTOS

ADHERENCIAS

Se da cuando 2 superficies lubricadas deslizan entre sí, bajo carga y el material se transfiere de una a otra provocando un desgarre de las superficies. Pudiendo producir revenido. Esto produce concentraciones de fatiga localizadas que pueden originar agrietamiento o desconchado. Pudiendo producirse por:

Adherencia de caminos a intervalos correspondientes al espacio entre rodillos. Con demasiada frecuencia, cuando los rodamientos de rodillos cilíndricos están siendo montados, el conjunto del aro con rodillos y jaula se introduce de manera inclinada, llegar a ser girados. Entonces los rodillos marcan el camino de rodadura del otro aro, en forma de trazos largos y transversales. Este tipo de fallo puede ser evitado si el rodamiento está bien lubricado y uno de los aros se gira. Un daño parecido aparece si los aros del rodamiento se montan con ajuste demasiado fuerte en relación con el juego interno, tal como ocurre con la precarga.

¿Cómo evitarlo? si el rodamiento está bien lubricado y uno de los aros se gira. Cuando se monta un número de rodamientos elevado es oportuno utilizar un anillo guía de montaje.

BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES

ANTERIOR

PARA CONTINUAR

MENÚ PRINCIPAL

- INTRODUCCIÓN
- CLASIFICACIÓN
- CINÉTICA Y DINÁMICA
- **DEFECTOLOGÍA**



LOS RODAMIENTOS Y SU DEFECTOLOGIA

DEFECTOLOGÍA EN RODAMIENTOS

ADHERENCIAS

Se da cuando 2 superficies lubricadas deslizan entre sí, bajo carga y el material se transfiere de una a otra provocando un desgarre de las superficies. Pudiendo producir revenido. Esto produce concentraciones de fatiga localizadas que pueden originar agrietamiento o desconchado. Pudiendo producirse por:


Adherencia de superficies externas. La adherencia puede aparecer sobre las superficies externas de rodamientos fuertemente cargados. La adherencia, en este caso, es el resultado de movimientos relativos entre el aro del rodamiento y su eje o soporte, produciéndose una superficie deteriorada y descolorida tanto en la superficie externa del aro interior como del aro exterior.

¿Cómo evitarlo? Realizando los ajustes tan estrechos como para impedir el movimiento del aro respecto a su asiento correspondiente. Una compresión axial más fuerte no sirve.

BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES

ANTERIOR

PARA CONTINUAR



MENÚ PRINCIPAL

- INTRODUCCIÓN
- CLASIFICACIÓN
- CINÉTICA Y DINÁMICA
- **DEFECTOLOGÍA**



LOS RODAMIENTOS Y SU DEFECTOLOGIA

DEFECTOLOGÍA EN RODAMIENTOS

ADHERENCIAS

Se da cuando 2 superficies lubricadas deslizan entre sí, bajo carga y el material se transfiere de una a otra provocando un desgarre de las superficies. Pudiendo producir revenido. Esto produce concentraciones de fatiga localizadas que pueden originar agrietamiento o desenchado. Pudiendo producirse por:

Adherencia de superficies internas. Este tipo de adherencia ocurre en los rodamientos axiales de bolas cuando la velocidad de rotación es demasiado alta en relación con la carga ya que la fuerza centrífuga impulsa las bolas hacia la parte externa de los caminos de rodadura donde las bolas no ruedan satisfactoriamente por las pistas. Esto conduce a la formación de marca diagonales en la parte externa de los caminos de rodadura.

¿Cómo evitarlo? Sometiendo al rodamiento a una carga adicional como por ejemplo la aplicación de muelles.

BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES

ANTERIOR

PARA CONTINUAR



MENÚ PRINCIPAL

- INTRODUCCIÓN
- CLASIFICACIÓN
- CINÉTICA Y DINÁMICA
- **DEFECTOLOGÍA**



LOS RODAMIENTOS Y SU DEFECTOLOGIA

DEFECTOLOGÍA EN RODAMIENTOS

FATIGA SUPERFICIAL

Si la película de lubricante entre los caminos de rodadura y los elementos rodantes llega a ser demasiado fina, las crestas de asperezas superficiales entrarán momentáneamente en contacto entre sí, entonces, se producirán pequeñas grietas en la superficie, lo cual se conoce como fatiga superficial.

Estas grietas no deben confundirse con las grietas de fatiga, que se originan debajo de la superficie y conducen al descascarillado, las grietas de fatiga superficial son microscópicamente pequeñas y crecen, gradualmente, hasta un tamaño tal que interfieren en el rodaje del rodamiento. Estas grietas pueden, sin embargo, acelerar la formación de grietas de fatiga bajo la superficie y acortar así la vida del rodamiento.

¿Cómo evitarlo? Manteniendo siempre la lubricación de forma satisfactoria, es decir, si la película de lubricante no llega a ser muy delgada no hay riesgo de fatiga superficial.

BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES

ANTERIOR

PARA CONTINUAR

MENÚ PRINCIPAL

- INTRODUCCIÓN
- CLASIFICACIÓN
- CINÉTICA Y DINÁMICA
- **DEFECTOLOGÍA**

LOS RODAMIENTOS Y SU DEFECTOLOGIA

DEFECTOLOGÍA EN RODAMIENTOS

CORROSIÓN

Si se introduce agua o agentes corrosivos en el rodamiento, en tal cantidad que el lubricante no puede ofrecer protección para la superficie del acero, se formará óxido. Hay 2 tipos de oxidación principalmente:

Óxido profundo. Si las superficies de acero quedan en contacto con el aire la humedad u otros elementos oxidantes forma una fina película de óxido de hierro, pero esta no es impenetrable y si sigue estando en contacto con las superficies del acero se formarán manchas de grabado. Evolucionando estas a zonas de óxido profundo. Estas zonas suponen un gran peligro ya que pueden iniciar el desconchado y formación de grietas.

Los materiales que más influyen para el proceso de oxidación son los ácidos ya que corroen el acero rápidamente, como por ejemplo las sales que están presentes en el agua ya que constituyen un electrolito que causa una corrosión galvánica, conocida como "grabado al agua".

¿Cómo evitarlo? Para evitar esta oxidación basta con mejorar la obturación y utilizar lubricantes con mejores propiedades inhibidoras.

BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES

ANTERIOR

PARA CONTINUAR

MENÚ PRINCIPAL

- INTRODUCCIÓN
- CLASIFICACIÓN
- CINÉTICA Y DINÁMICA
- **DEFECTOLOGÍA**

LOS RODAMIENTOS Y SU DEFECTOLOGIA

DEFECTOLOGÍA EN RODAMIENTOS

CORROSIÓN

Si se introduce agua o agentes corrosivos en el rodamiento, en tal cantidad que el lubricante no puede ofrecer protección para la superficie del acero, se formará óxido. Hay 2 tipos de oxidación principalmente:

Corrosión de contacto. Si se perfora la fina película de óxido, la oxidación continuará más profundamente dentro del material. Un ejemplo de esto es la corrosión que acontece cuando existe movimiento relativo entre el aro del rodamiento y eje o soporte, a causa del ajuste demasiado flojo. El movimiento relativo puede producir también pequeñas partículas de material que se llegan a desprender de la superficie. Estas se oxidan rápidamente al contacto con el oxígeno de la atmósfera.

Como consecuencia de la corrosión de contacto, los aros del rodamiento pueden no estar soportados uniformemente y esto tiene un desfavorable efecto sobre la distribución de la carga. Las áreas oxidadas también actúan como defecto de entalla.

¿Cómo evitarlo? Para evitar esta oxidación basta con mejorar la obturación y utilizar lubricantes con mejores propiedades inhibidoras.

BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES

ANTERIOR

PARA CONTINUAR



MENÚ PRINCIPAL

- INTRODUCCIÓN
- CLASIFICACIÓN
- CINÉTICA Y DINÁMICA
- **DEFECTOLOGÍA**




LOS RODAMIENTOS Y SU DEFECTOLOGÍA

DEFECTOLOGÍA EN RODAMIENTOS

AVERÍA POR PASO DE CORRIENTE ELÉCTRICA

Cuando la corriente eléctrica pasa a través de un rodamiento, es decir, pasando a través de los elementos rodantes, se produce un proceso similar a la soldadura por arco eléctrico, provocando que el material se caliente alcanzando niveles de temperaturas desde temple hasta fusión. Produciendo áreas descoloridas, variando en tamaño, donde el material ha sido templado, revenido o fundido formándose también pequeños cráteres allí donde el material ha fundido.

La magnitud de los daños depende de varios factores, tales como la intensidad de corriente, duración carga sobre el rodamiento, velocidad y lubricante, cuando el rodamiento no gira ofrecen mucha más resistencia al daño por corriente eléctrica que cuando se encuentra en movimiento.

¿Cómo evitarlo? La única forma de evitar daños es impedir cualquier paso de corriente eléctrica a través del rodamiento.

BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES
ANTERIOR
PARA CONTINUAR



MENÚ PRINCIPAL

- INTRODUCCIÓN
- CLASIFICACIÓN
- CINÉTICA Y DINÁMICA
- **DEFECTOLOGÍA**



LOS RODAMIENTOS Y SU DEFECTOLOGÍA

DEFECTOLOGÍA EN RODAMIENTOS

DESCONCHADO O DESCASCARILLADO

A causa de la fatiga, se producen grietas que se extienden gradualmente hasta la superficie. Conforme los elementos rodantes alcanzan los fragmentos agrietados del material, estos rompen. Esto es conocido como "flaking" o "spalling" (desconchado o descascarillado), el desconchado se incrementa progresivamente en extensión y finalmente deja del rodamiento inservible.

Sin embargo, esta no es la causa más corriente de desconchado, ya que se le puede atribuir a otros factores.

Si se descubre en una etapa inicial, cuando el deterioro no está demasiado extendido, frecuentemente es posible diagnosticar su causa y tomar medidas necesarias para evitar una repetición de la avería.

Cuando el desconchado ha proseguido hasta un cierto nivel, hace notar su presencia en forma de ruido y vibración, lo que sirve como advertencia de que es el momento para sustituir el rodamiento.

BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES
ANTERIOR
PARA CONTINUAR

MENÚ PRINCIPAL
■ INTRODUCCIÓN
■ CLASIFICACIÓN
■ CINÉTICA Y DINÁMICA
■ DEFECTOLOGÍA

LOS RODAMIENTOS Y SU DEFECTOLOGÍA

DEFECTOLOGÍA EN RODAMIENTOS

DESCONCHADO O DESCASCARILLADO

Las causas de un desconchado prematuro pueden deberse a varios factores:

Producido por precarga. En este tipo de desconchado se da una huella firmemente señalada en los caminos de rodadura de ambos aros dándose el desconchado normalmente en la zona más cargada. Esto se debe a precargas causadas por la existencia de ajustes demasiado fuertes, calado excesivo en asientos cónicos o una excesiva diferencia de temperatura entre aros interior y exterior.

¿Cómo evitarlo? Hay que tener especial precaución en el momento del montaje del conjunto eje-rodamiento-soporte, para no producir precargas excesivas fuera de los parámetros de diseño. Cargas dentro de los límites del rodamiento y lubricación adecuada.

BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES

ANTERIOR

PARA CONTINUAR

MENÚ PRINCIPAL
■ INTRODUCCIÓN
■ CLASIFICACIÓN
■ CINÉTICA Y DINÁMICA
■ DEFECTOLOGÍA

LOS RODAMIENTOS Y SU DEFECTOLOGÍA

DEFECTOLOGÍA EN RODAMIENTOS

DESCONCHADO O DESCASCARILLADO

Las causas de un desconchado prematuro pueden deberse a varios factores:

Producido por compresión oval. El aspecto que presenta este tipo de desconchado son unas huellas firmemente señaladas en dos sectores diametralmente opuestos de cada aro del rodamiento, causados por asientos ovalados en el eje o soporte.

¿Cómo evitarlo? Se ha de mecanizar los asientos del rodamiento en eje y soporte con la adecuada tolerancia de forma. Si se ha detectado este tipo de defecto es necesario fabricar un nuevo eje o soporte o metalizar la pieza y rectificarla.

BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES

ANTERIOR

PARA CONTINUAR



MENÚ PRINCIPAL

- INTRODUCCIÓN
- CLASIFICACIÓN
- CINÉTICA Y DINÁMICA
- **DEFECTOLOGÍA**



LOS RODAMIENTOS Y SU DEFECTOLOGÍA

DEFECTOLOGÍA EN RODAMIENTOS

DESCONCHADO O DESCASCARILLADO

Las causas de un desconchado prematuro pueden deberse a varios factores:

Producido por compresión axial. Dependiendo del tipo de rodamiento al que este afectado puede presentar varios aspectos:

- Rodamientos rígidos de bolas: huella firmemente marcada, desplazada en ambos aros.
- Rodamientos de bolas y de rodillos a rótula: huella firmemente marcada por una hilera de elementos rodantes.

Este defecto es producido por un montaje incorrecto, que se traduce en carga axial, por ejemplo, excesiva precarga de rodamientos de bolas con contacto angular y de rodillos cónicos.

También puede ser causado porque el rodamiento libre se ha frenado o que la libertad de movimiento axial que se debe de dejar para absorber la dilatación térmica no ha sido suficiente.

¿Cómo evitarlo? se debe comprobar y verificar el ajuste al montar el rodamiento, lubricar las superficies y dar una mayor libertad de movimiento.


BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES



ANTERIOR



PARA CONTINUAR



MENÚ PRINCIPAL

- INTRODUCCIÓN
- CLASIFICACIÓN
- CINÉTICA Y DINÁMICA
- **DEFECTOLOGÍA**

LOS RODAMIENTOS Y SU DEFECTOLOGÍA

DEFECTOLOGÍA EN RODAMIENTOS

DESCONCHADO O DESCASCARILLADO

Las causas de un desconchado prematuro pueden deberse a varios factores:


Producido por desalineación. Para este tipo de desconchado, al igual que el anterior, puede presentar varios aspectos dependiendo del tipo de rodamiento:

- Rodamiento rígido de bolas: huella diagonal, firmemente marcada en dos sectores diametralmente opuestos.
- Rodamientos de rodillos cilíndricos: desconchado en el borde del camino de rodadura.

Este desconchado se puede dar por una desalineación de los asientos de los rodamientos o una superficie de apoyo inclinada.

¿Cómo evitarlo? Se ha de evitar en la medida de lo posible las desalineaciones mencionadas o si no es posible emplear rodamientos que acepten desalineamientos.

BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES



ANTERIOR



PARA CONTINUAR

MENÚ PRINCIPAL
■ INTRODUCCIÓN
■ CLASIFICACIÓN
■ CINÉTICA Y DINÁMICA
■ DEFECTOLOGÍA

LOS RODAMIENTOS Y SU DEFECTOLOGIA

DEFECTOLOGÍA EN RODAMIENTOS

DESCONCHADO O DESCASCARILLADO

Las causas de un desconchado prematuro pueden deberse a varios factores:

Producido por muescas. Este tipo de desconchado es producido por muescas resultantes de montajes defectuosos o sobrecargas en rodamientos que no giran o producidas por partículas extrañas, dando este desconchado junto a estas muescas.

Producido por adherencias. Este tipo de desconchado es producido adherencias transversales por montaje defectuoso o adherencias por arrastre, dándose el desconchado al comienzo de la zona de carga en los caminos de rodadura de rodamientos de rodillos o coincidiendo con el espacio entre rodillos en caminos de rodadura de rodamientos de rodillos.

Producido por óxido profundo y corrosión de contacto. El desconchado en este caso es originado por los daños de corrosión causados por el óxido profundo o por la corrosión de contacto dándose en este caso en el camino de rodadura de uno u otroaro.

BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES
 ANTERIOR PARA CONTINUAR

MENÚ PRINCIPAL
■ INTRODUCCIÓN
■ CLASIFICACIÓN
■ CINÉTICA Y DINÁMICA
■ DEFECTOLOGÍA

LOS RODAMIENTOS Y SU DEFECTOLOGIA

DEFECTOLOGÍA EN RODAMIENTOS

DESCONCHADO O DESCASCARILLADO

Las causas de un desconchado prematuro pueden deberse a varios factores:

Producido por acanaladuras y cráteres. El desconchado en este caso es originado por vibraciones mientras el rodamiento permanecía inmóvil o por paso de corriente eléctrica, dándose el desconchado junto a las acanaladuras o cráteres tanto corroídos o brillantes como quemados o oscurecidos.

BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES
 ANTERIOR PARA CONTINUAR



MENÚ PRINCIPAL

- INTRODUCCIÓN
- CLASIFICACIÓN
- CINÉTICA Y DINÁMICA
- **DEFECTOLOGÍA**

LOS RODAMIENTOS Y SU DEFECTOLOGÍA

DEFECTOLOGÍA EN RODAMIENTOS

GRIETAS

Las grietas pueden formarse en los aros del rodamiento por varias razones. La causa más común es un trato brusco cuando el rodamiento está siendo montado o desmontado. Los golpes de mazo, aplicados directamente contra el aro o mediante un botado templado, pueden originar la formación de finas grietas de distinto aspecto, tal y como se puede observar en las imágenes del siguiente enlace:

Causas habituales para la formación de grietas

Otra causa del agrietamiento del aro es calar excesivamente sobre asiento cónico o manguito. Los esfuerzos de tracción que surgen en los aros, como resultado de un calado excesivo, producen grietas cuando el rodamiento se pone en servicio. Se puede obtener el mismo resultado cuando los rodamientos se calientan y después se montan sobre ejes fabricados con tolerancias no adecuadas. Las adherencias, también pueden producir grietas, perpendiculares a la dirección del deslizamiento, estas producen fracturas que cruzan los aros como se puede observar en la figura lateral.

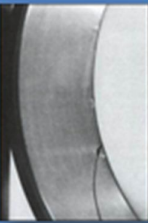
BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTOS

ANÁLISIS DE VIBRACIONES


ANTERIOR

PARA CONTINUAR

Causas habituales para la formación de grietas



Fractura del aro exterior de un rodamiento de bolas a rótula. Las muescas visibles en el borde inferior del aro fueron causadas por un mal trato, originando la fisura en una de estas muescas.



Aro interior de un rodamiento de rodillos a rótula con la pestaña exterior fracturada por golpes directos de martillo.

¿Cómo evitarlo? se debe aplicar la presión de montaje al aro con ajuste de interferencia y evitar sobrecargas o usar rodamientos con una mayor capacidad de carga estática.

¿Cómo evitarlo? se debe aplicar la presión de montaje al aro con ajuste de interferencia y evitar sobrecargas o usar rodamientos con una mayor capacidad de carga estática.

¿Cómo evitarlo? se debe aplicar la presión de montaje al aro con ajuste de interferencia y evitar sobrecargas o usar rodamientos con una mayor capacidad de carga estática.


VOLVER

SIGUIENTE

Causas habituales para la formación de grietas

DEFECTOLOGÍA EN RODAMIENTOS

MUESCAS



Los caminos de los elementos rodantes, pueden llegar a presiones muy altas si la presión de montaje está aplicada al aro equis, esta se transmite a través de los elementos rodantes, lo que puede ser debido a:

- Muecas por impacto de montaje o sobrecarga. Los rodillos pueden producir muescas si la presión es aplicada de forma incorrecta durante el montaje o desmontaje. Los rodillos pueden producir muescas si la presión es aplicada de forma incorrecta durante el montaje o desmontaje. Los rodillos pueden producir muescas si la presión es aplicada de forma incorrecta durante el montaje o desmontaje.

Fractura del aro interior de un rodamiento de rodillos a rótula. Uno de los rodillos ha sido extraído para permitir que el camino de rodadura en el lado izquierdo fuese examinado. El rodillo fue reinsertado con el martillo causando parte de la rotura de la pestaña central. Los impactos han sido transmitidos al camino opuesto a través de un rodillo, y parte de la pestaña también ha saltado. Al mismo tiempo el aro se ha fracturado transversalmente.

[VOLVER](#)

LOS RODAMIENTOS Y SU DEFECTOLOGÍA

DEFECTOLOGÍA EN RODAMIENTOS

GRIETAS

Lo mismo se aplica a la corrosión por contacto, dándose en este caso las grietas de forma transversal en aros interiores y longitudinales en aros exteriores, junto con corrosión de contacto tal y como se puede observar en las siguientes imágenes:



Aro interior de rodamiento de rodillos a rótula con corrosión de contacto y rotura transversal.



Rotura longitudinal de un aro exterior de rodamiento rígido de bolas, con corrosión de contacto.

BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES

[ANTERIOR](#) [PARA CONTINUAR](#)



MENÚ PRINCIPAL

- INTRODUCCIÓN
- CLASIFICACIÓN
- CINÉTICA Y DINÁMICA
- **DEFECTOLOGÍA**

LOS RODAMIENTOS Y SU DEFECTOLOGÍA

DEFECTOLOGÍA EN RODAMIENTOS

AVERIAS DE LA JAULA

Si al examinar un rodamiento deteriorado se encuentra la jaula dañada puede, en muchos casos, resultar difícil establecer la causa. Generalmente, si otros componentes del rodamiento están dañados también hace mucho más difícil descubrir la razón de la avería, que pueden ser las siguientes:

Vibraciones. Cuando un rodamiento está expuesto a vibraciones, las fuerzas de inercia pueden ser tan grandes que originan fatiga y forman grietas en la jaula después de un cierto tiempo. Antes o después estas grietas producen la rotura de la jaula, tal y como ocurre en la imagen lateral.

Velocidad excesiva. Si el rodamiento gira a velocidad mayor que la admitida por la jaula, esta es sometida a elevadas fuerzas de inercia que pueden producir fracturas. Frecuentemente, para velocidades muy altas es posible seleccionar rodamientos con jaulas de diseño especial.



BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES

ANTERIOR

PARA CONTINUAR



MENÚ PRINCIPAL

- INTRODUCCIÓN
- CLASIFICACIÓN
- CINÉTICA Y DINÁMICA
- **DEFECTOLOGÍA**

LOS RODAMIENTOS Y SU DEFECTOLOGÍA

DEFECTOLOGÍA EN RODAMIENTOS

AVERIAS DE LA JAULA

Si al examinar un rodamiento deteriorado se encuentra la jaula dañada puede, en muchos casos, resultar difícil establecer la causa. Generalmente, si otros componentes del rodamiento están dañados también hace mucho más difícil descubrir la razón de la avería, que pueden ser las siguientes:

Desgaste. El desgaste de la jaula puede ser originado por lubricación inadecuada o por partículas abrasivas. El propósito general de los rodamientos es, evitar el rozamiento originado por el deslizamiento. Sin embargo, en lo que concierne a la jaula, el deslizamiento no puede ser eliminado en los contactos con los otros componentes del rodamiento. Esto explica por qué la jaula es el primer componente en ser afectado cuando la lubricación es inadecuada. La jaula siempre se fabrica de material más blando que los otros componentes y, consecuentemente, se desgasta más rápidamente. Como los alvéolos aumentan de tamaño debido al desgaste, las guías de los elementos rodantes se deterioran. Las fuerzas resultantes pueden conducir al fallo de la jaula dentro de un corto espacio de tiempo, tal y como ocurre en la imagen lateral.



BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES

ANTERIOR

PARA CONTINUAR

MENÚ PRINCIPAL
■ INTRODUCCIÓN
■ CLASIFICACIÓN
■ CINÉTICA Y DINÁMICA
■ **DEFECTOLOGÍA**

LOS RODAMIENTOS Y SU DEFECTOLOGÍA

DEFECTOLOGÍA EN RODAMIENTOS

AVERÍAS DE LA JAULA

Si al examinar un rodamiento deteriorado se encuentra la jaula dañada puede, en muchos casos, resultar difícil establecer la causa. Generalmente, si otros componentes del rodamiento están dañados también hace mucho más difícil descubrir la razón de la avería, que pueden ser las siguientes:

Gripado. Los fragmentos de material desconchado y otras partículas duras pueden quedar encajados entre la jaula y elementos rodantes, impidiendo la rotación de estos sobre su propio eje. Esto produce el fallo de la jaula.

Otras causas de avería en jaulas. Si los aros de un rodamiento rígido de bolas se ajustan, sin alineación, uno respecto al otro, la huella de las bolas tiene forma ovalada. Si la jaula está centrada sobre las bolas, tiene que cambiar de forma por cada revolución que realiza. En el material se forman grietas por fatiga y, más tarde o más temprano, esto produce la fractura. Las jaulas de rodamientos sujetos a fuertes aceleraciones, deceleraciones y asociadas variaciones de velocidad. Esto da lugar a considerables presiones entre las superficies en contacto, con el consiguiente fuerte desgaste.

BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES

ANTERIOR

PARA CONTINUAR

MENÚ PRINCIPAL
■ INTRODUCCIÓN
■ CLASIFICACIÓN
■ CINÉTICA Y DINÁMICA
■ **DEFECTOLOGÍA**

LOS RODAMIENTOS Y SU DEFECTOLOGÍA

DEFECTOLOGÍA EN RODAMIENTOS

Comportamiento vibratorio de rodamientos con DEFECTOS LOCALIZADOS.

Los defectos en los rodamientos pueden clasificarse en defectos localizados y defectos distribuidos.

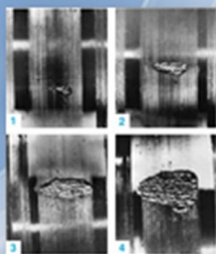
- Un defecto es **localizado** cuando se encuentra en una posición bien definida en alguno de los componentes del rodamiento. Entre los que están la formación de hoyos o picaduras, las grietas, etc, siendo las picaduras o 'spalling' los que predominan. El defecto originado por una grieta de fatiga que surge bajo la superficie del elemento y se propaga hacia el exterior hasta que arranca una lámina de metal, formando así una pequeña picadura en su inicio.
- Los defectos **distribuidos** incluyen rugosidad superficial y ondulaciones en las pistas, pistas desalineadas y elementos rodantes de tamaños o geometrías defectuosas.

Cuando un elemento rodante pasa sobre un defecto local, da origen a una fuerza impulsiva que genera una vibración. Mediante un análisis de la misma, se puede detectar la presencia de dicho defecto, produce el fallo de la jaula.

BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES

ANTERIOR

PARA CONTINUAR



Evolución del deterioro por picadura.

MENÚ PRINCIPAL

- INTRODUCCIÓN
- CLASIFICACIÓN
- CINÉTICA Y DINÁMICA
- **DEFECTOLOGÍA**

LOS RODAMIENTOS Y SU DEFECTOLOGÍA

DEFECTOLOGÍA EN RODAMIENTOS

Comportamiento vibratorio de rodamientos con DEFECTOS LOCALIZADOS.

Cuando el defecto se encuentra en su estado incipiente, estas fuerzas impulsivas, contienen muy poca energía, pues se trata de impulsos de muy corta duración, aunque las amplitudes de la vibración pueden llegar a ser relativamente elevadas. La detección de un defecto en un rodamiento a partir de la señal de vibración generada por una máquina en funcionamiento presenta cierta complejidad respecto a otros defectos como desequilibrios, desalineamientos, holguras, etc. ya que presentan un menor intercambio de energía.

Cuando un rodamiento tiene un defecto, en su espectro de frecuencias aparecen grandes amplitudes a unas frecuencias muy bien definidas. En principio, estas frecuencias dependen de unas características propias del rodamiento, como son el número de elementos rodantes y las dimensiones de los elementos del rodamiento y de las condiciones de funcionamiento.

BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES

 ANTERIOR

 PARA CONTINUAR

MENÚ PRINCIPAL

- INTRODUCCIÓN
- CLASIFICACIÓN
- CINÉTICA Y DINÁMICA
- **DEFECTOLOGÍA**

LOS RODAMIENTOS Y SU DEFECTOLOGÍA

DEFECTOLOGÍA EN RODAMIENTOS

FRECUENCIAS ROTACIONALES.

Para poder interpretar con claridad las ecuaciones que permiten calcular la frecuencia que define el defecto localizado en un elemento del rodamiento, es necesario entender la relación de velocidades relativas entre los elementos móviles del mismo.

V_{out} , V_c y V_{in} representan las velocidades lineales del punto de contacto bola-anillo externo, centro de la bola y punto de contacto bola-anillo interno respectivamente. El ángulo α es el ángulo de contacto y d_m es el diámetro medio del rodamiento.

BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES

 ANTERIOR

 PARA CONTINUAR

MENÚ PRINCIPAL

- INTRODUCCIÓN
- CLASIFICACIÓN
- CINÉTICA Y DINÁMICA
- **DEFECTOLOGÍA**

LOS RODAMIENTOS Y SU DEFECTOLOGÍA

DEFECTOLOGÍA EN RODAMIENTOS

FRECUENCIAS ROTACIONALES

La velocidad lineal del centro de la bola viene dada por la siguiente ecuación:

$$V_c = \frac{V_{ext} + V_{int}}{2}$$

La velocidad angular de la bola respecto al centro del rodamiento o velocidad angular de la jaula tiene el valor de:

$$\omega_c = \frac{V_c}{dm/2} = \frac{(V_{ext} + V_{int})/2}{dm/2} = \frac{V_{ext} + V_{int}}{dm}$$

Si la pista externa gira con una velocidad angular ω_{ext} , la velocidad lineal del punto de contacto bola-anillo externo, V_{ext} es de:

$$V_{ext} = \omega_{ext} \left(\frac{dm}{2} + \frac{d_{ext} \cdot \cos(\alpha)}{2} \right)$$

Si la pista interna gira con una velocidad angular ω_{int} , la velocidad lineal del punto de contacto bola-anillo interno, V_{int} es de:

$$V_{int} = \omega_{int} \left(\frac{dm}{2} - \frac{d_{int} \cdot \cos(\alpha)}{2} \right)$$

BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES

ANTERIOR

PARA CONTINUAR

MENÚ PRINCIPAL

- INTRODUCCIÓN
- CLASIFICACIÓN
- CINÉTICA Y DINÁMICA
- **DEFECTOLOGÍA**

LOS RODAMIENTOS Y SU DEFECTOLOGÍA

DEFECTOLOGÍA EN RODAMIENTOS

FRECUENCIAS ROTACIONALES

Sustituyendo estas ecuaciones en la ecuación general de ω_c :

$$\omega_c = \frac{\omega_{ext} \left(\frac{dm}{2} + \frac{d_{ext} \cdot \cos(\alpha)}{2} \right) + \omega_{int} \left(\frac{dm}{2} - \frac{d_{int} \cdot \cos(\alpha)}{2} \right)}{dm}$$

Operando quedaría el resultado de la FTF (Fundamental Train Frequency):

$$FTF = \omega_c = \frac{1}{2} \left[\omega_{ext} \left(1 + \frac{d_{ext} \cdot \cos(\alpha)}{dm} \right) + \omega_{int} \left(1 - \frac{d_{int} \cdot \cos(\alpha)}{dm} \right) \right]$$

Por otro lado, la frecuencia de paso de las bolas por un defecto en el anillo externo, BPFO (Ball Pass Frequency of the Outer race), puede obtenerse como el producto del número de bolas Z por la velocidad angular relativa entre el anillo externo y la jaula:

$$BPFO = Z \cdot (\omega_c - \omega_{ext})$$

La frecuencia de paso de las bolas por un defecto en el anillo interno, BPFI (Ball Pass Frequency of the inner race), puede obtenerse como el producto del número de bolas Z por la velocidad angular relativa entre el anillo interno y la jaula:


$$BPFI = Z \cdot (\omega_c - \omega_{int})$$

BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES

ANTERIOR

PARA CONTINUAR





MENÚ PRINCIPAL

- INTRODUCCIÓN
- CLASIFICACIÓN
- CINÉTICA Y DINÁMICA
- **DEFECTOLOGÍA**

LOS RODAMIENTOS Y SU DEFECTOLOGÍA

DEFECTOLOGÍA EN RODAMIENTOS

FRECUENCIAS ROTACIONALES

Sustituyendo estas ecuaciones en la ecuación general de ω_c :

$$\omega_c = \frac{\omega_{ext} \left(\frac{d_m}{2} + \frac{d_{se} \cos(\alpha)}{2} \right) + \omega_{in} \left(\frac{d_m}{2} - \frac{d_{se} \cos(\alpha)}{2} \right)}{d_m}$$

Operando quedaría el resultado de la FTF (Fundamental Train Frequency):

$$FTF = \omega_c = \frac{1}{2} \left[\omega_{ext} \left(1 + \frac{d_{se} \cos(\alpha)}{d_m} \right) + \omega_{in} \left(1 - \frac{d_{se} \cos(\alpha)}{d_m} \right) \right]$$


Por otro lado, la frecuencia de paso de las bolas por un defecto en el anillo externo, BPFO (Ball Pass Frequency of the Outer race), puede obtenerse como el producto del número de bolas Z por la velocidad angular relativa entre el anillo externo y la jaula:

$$BPFO = Z \cdot (\omega_c - \omega_{ext})$$


La frecuencia de paso de las bolas por un defecto en el anillo interno, BPFI (Ball Pass Frequency of the inner race), puede obtenerse como el producto del número de bolas Z por la velocidad angular relativa entre el anillo interno y la jaula:

$$BPFI = Z \cdot (\omega_{in} - \omega_c)$$


BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES



ANTERIOR



PARA CONTINUAR



MENÚ PRINCIPAL

- INTRODUCCIÓN
- CLASIFICACIÓN
- CINÉTICA Y DINÁMICA
- **DEFECTOLOGÍA**

LOS RODAMIENTOS Y SU DEFECTOLOGÍA

DEFECTOLOGÍA EN RODAMIENTOS

FRECUENCIAS ROTACIONALES

Estas ecuaciones son de carácter general, donde los dos anillos tanto el interior como el exterior se encuentran en movimiento. Generalmente y en nuestro caso, el anillo exterior es estacionario, siendo $\omega_{out} = 0$. Además, la velocidad angular del anillo interno suele darse en revoluciones por minuto. Realizando estas simplificaciones, las ecuaciones quedan en la forma:


$$FTF = \frac{\omega_{in}}{2} \left(1 - \frac{d_{se} \cos(\alpha)}{d_m} \right)$$

$$BPFO = \frac{Z \cdot \omega_{in}}{2} \left(1 - \frac{d_{se} \cos(\alpha)}{d_m} \right)$$


$$BPFI = \frac{Z \cdot \omega_{in}}{2} \left(1 + \frac{d_{se} \cos(\alpha)}{d_m} \right)$$

$$BSF = \frac{d_{se} \cdot \omega_{in}}{2 \cdot d_{se}} \left[1 - \left(\frac{d_{se} \cos(\alpha)}{d_m} \right)^2 \right]$$

BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES



ANTERIOR



PARA CONTINUAR

MENÚ PRINCIPAL

- INTRODUCCIÓN
- CLASIFICACIÓN
- CINÉTICA Y DINÁMICA
- **DEFECTOLOGÍA**

LOS RODAMIENTOS Y SU DEFECTOLOGIA

DEFECTOLOGÍA EN RODAMIENTOS

ESPECTRO DE LOS DEFECTOS.

En el espectro de potencia de la señal de vibración generada por un rodamiento, pueden distinguirse cuatro zonas características, tal y como muestra la Figura:

BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES
ANTERIOR
PARA CONTINUAR

MENÚ PRINCIPAL

- INTRODUCCIÓN
- CLASIFICACIÓN
- CINÉTICA Y DINÁMICA
- **DEFECTOLOGÍA**

LOS RODAMIENTOS Y SU DEFECTOLOGIA

DEFECTOLOGÍA EN RODAMIENTOS

ESPECTRO DE LOS DEFECTOS.

Zona A
Región de la vibración del sistema. Las vibraciones ligadas a anomalías tales como el desequilibrio, el des-alineamiento o la inestabilidad dinámica del rotor se sitúan en un rango de frecuencia comprendido entre 0.25 y 3 veces la velocidad de rotación del eje de la máquina. Algunas de ellas pueden derivar de un deterioro en los rodamientos, ya que el desgaste o la holgura en los rodamientos producen excentricidad en el eje.

BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES
ANTERIOR
PARA CONTINUAR

MENÚ PRINCIPAL

- INTRODUCCIÓN
- CLASIFICACIÓN
- CINÉTICA Y DINÁMICA
- **DEFECTOLOGÍA**

LOS RODAMIENTOS Y SU DEFECTOLOGIA

DEFECTOLOGÍA EN RODAMIENTOS

ESPECTRO DE LOS DEFECTOS.

Zona B
Región de los defectos en el rodamiento. Esta banda corresponde al rango de frecuencias comprendidas entre la frecuencia de paso de elemento rodante y siete veces esta frecuencia. Representa la banda que aporta mayor cantidad de información sobre el estado de deterioro de los rodamientos. El 90 por ciento de los fallos de los rodamientos se deben a grietas en los elementos rodantes, pista de rodadura interna o externa, que generan frecuencias en esta banda. El 10 por ciento restante son producidas por grietas en la caja de los rodamientos y dan lugar a frecuencias en la región de vibración del rotor.

BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES

ANTERIOR
PARA CONTINUAR

MENÚ PRINCIPAL

- INTRODUCCIÓN
- CLASIFICACIÓN
- CINÉTICA Y DINÁMICA
- **DEFECTOLOGÍA**

LOS RODAMIENTOS Y SU DEFECTOLOGIA

DEFECTOLOGÍA EN RODAMIENTOS

ESPECTRO DE LOS DEFECTOS.

Zona C
Región correspondiente a las frecuencias naturales de los componentes de los rodamientos. Las medidas realizadas en esta región deben ser complementadas con medidas en las otras regiones ya que son más fiables. Esta zona nos proporciona una idea sobre el estado del defecto pero debemos complementarlas con las tomadas en las regiones anteriores para tener información de la naturaleza del defecto.

BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES

ANTERIOR
PARA CONTINUAR

MENÚ PRINCIPAL

- INTRODUCCIÓN
- CLASIFICACIÓN
- CINÉTICA Y DINÁMICA
- **DEFECTOLOGÍA**

LOS RODAMIENTOS Y SU DEFECTOLOGÍA

DEFECTOLOGÍA EN RODAMIENTOS

ESPECTRO DE LOS DEFECTOS.

Zona D
Región de alta frecuencia o de Spike Energy. Esta región cubre el rango de frecuencias más elevado. Esta región nos proporciona una clara idea de la evolución del defecto junto con una pronta identificación del defecto ya que es la primera zona en la que se advierten estos deterioros incipientes. El problema de esta zona es que es una región ultrasónica y requiere de un sensor especialmente diseñado para detectar frecuencias muy altas. Circuitos de filtros especiales dejan pasar sólo esta región de frecuencia.

BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES

MENÚ PRINCIPAL

- INTRODUCCIÓN
- CLASIFICACIÓN
- CINÉTICA Y DINÁMICA
- **DEFECTOLOGÍA**

LOS RODAMIENTOS Y SU DEFECTOLOGÍA

DEFECTOLOGÍA EN RODAMIENTOS

Evolución espectral del desarrollo de los defectos.

Estado I
 En este estado, el rodamiento todavía dispone de vida remanente considerable (en torno al 10 o 20 por ciento). Los defectos consisten en picaduras, las mayorías microscópicas, difíciles de identificar al tacto o visualmente, sólo identificables al microscopio. Además, no se generará ruido perceptible por el oído humano ni la temperatura se elevará significativamente. Para este estado, el único indicador del defecto es el marcado incremento de los valores globales del Spike-Energy (SE) (aparecen algunos picos en la región de alta frecuencia), ya que el espectro es normal (como el de un rodamiento nuevo) y no se refleja el defecto en él.

BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES

MENÚ PRINCIPAL

- INTRODUCCIÓN
- CLASIFICACIÓN
- CINÉTICA Y DINÁMICA
- **DEFECTOLOGÍA**

LOS RODAMIENTOS Y SU DEFECTOLOGÍA

DEFECTOLOGÍA EN RODAMIENTOS

Evolución espectral del desarrollo de los defectos.

Estado II

Cuando llega a este estado, el rodamiento dispone del 5-10 por ciento de vida remanente. Los defectos consisten en picaduras no visibles sin la ayuda de una lente de aumento o microscopio. Se observa un ligero incremento del ruido pero la elevación de la temperatura es prácticamente inapreciable. La aparición de estos pequeños defectos en el rodamiento repercute en el espectro, comenzando a excitarse las frecuencias de resonancia de los componentes del rodamiento y de su soporte que se concentrarán, aproximadamente, en el rango de frecuencias de 500-2000 Hz.

**BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES**

[ANTERIOR](#) [PARA CONTINUAR](#)

MENÚ PRINCIPAL

- INTRODUCCIÓN
- CLASIFICACIÓN
- CINÉTICA Y DINÁMICA
- **DEFECTOLOGÍA**

LOS RODAMIENTOS Y SU DEFECTOLOGÍA

DEFECTOLOGÍA EN RODAMIENTOS

Evolución espectral del desarrollo de los defectos.

Estado II

Las frecuencias naturales de la mayor parte de los rodamientos suelen estar entre los 850 y 1700 Hz, y su ubicación frecuencial no varía con la velocidad, aunque sí la amplitud. La respuesta en la zona de Spike-Energy también se ve afectada con un aumento de valor. Al inicio del estado 2, normalmente, sólo aparecerán en el espectro una o más frecuencias discretas en la zona antes delimitada para las frecuencias de resonancia. Hacia el final del estado 2, se hace patente en el espectro la aparición de bandas laterales alrededor de la frecuencia de resonancia, con un desplazamiento arriba y abajo de la frecuencia de resonancia de $\pm 1 \times \text{r.p.m.}$, o, más raramente, dicho desplazamiento toma el valor de la frecuencia de defecto en pista interior (BPI) o exterior (BPFO).

**BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES**

[ANTERIOR](#) [PARA CONTINUAR](#)

MENÚ PRINCIPAL

- INTRODUCCIÓN
- CLASIFICACIÓN
- CINÉTICA Y DINÁMICA
- **DEFECTOLOGÍA**

LOS RODAMIENTOS Y SU DEFECTOLOGÍA

DEFECTOLOGÍA EN RODAMIENTOS

Evolución espectral del desarrollo de los defectos.

Estado III

En este estado, el rodamiento dispone del 2-5 por ciento de vida remanente. Los defectos consisten en picaduras claramente visibles y relativamente profundas. El ruido es evidente y la temperatura se incrementa ligeramente. La respuesta del Spike- Energy continuará incrementándose, duplicándose e incluso triplicándose en amplitud, llegando incluso a valores de 30-50 veces más altos que los se obtenían cuando el rodamiento se colocó nuevo y después de haber realizado el periodo de rodaje de la máquina. Por primera vez aparecen frecuencias fundamentales asociadas con los defectos (BPFI, BPFO, BSF y FTF) y, a medida que avanza en el estado 3, van apareciendo armónicos de dichas frecuencias según progresa el desgaste ligeramente alrededor de la periferia de la pista y/o aparecen defectos en más de un elemento rodante.

BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES

ANTERIOR

PARA CONTINUAR

MENÚ PRINCIPAL

- INTRODUCCIÓN
- CLASIFICACIÓN
- CINÉTICA Y DINÁMICA
- **DEFECTOLOGÍA**

LOS RODAMIENTOS Y SU DEFECTOLOGÍA

DEFECTOLOGÍA EN RODAMIENTOS

Evolución espectral del desarrollo de los defectos.

Estado IV

El rodamiento se acerca a la situación de fallo catastrófico o colapso, dispone de una vida remanente de un 1 por ciento. Se puede apreciar en el rodamiento un pronunciado desgaste por toda la periferia de la pista de rodadura. El ruido se incrementa notablemente y hay un significativo aumento de temperatura. En el estado 4, aparecen gran cantidad de bandas laterales a una distancia de $\pm x$ r.p.m. alrededor de las frecuencias de defecto. La amplitud de la componente a $\pm x$ r.p.m., normalmente, comienza a incrementarse por primera vez a lo largo de todo el proceso descrito, así como sus armónicos 2º y 3º.

El nivel de Spike-Energy no se eleva sino que decrece, y las amplitudes de los armónicos más altos de las frecuencias de defecto y de las de resonancia también decrecerán, tendiendo a "desaparecer" y son sustituidos por otros armónicos aleatorios.

BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES

ANTERIOR



MENÚ PRINCIPAL

- INTRODUCCIÓN
- CLASIFICACIÓN
- **CINÉTICA Y DINÁMICA**
- DEFECTOLOGÍA



LOS RODAMIENTOS Y SU DEFECTOLOGIA

CINÉTICA DE LOS RODAMIENTOS

INTRODUCCIÓN

Los rodamientos presentan relaciones cinemáticas complicadas:

- "Spinning" y efectos giroscópicos en los rodamientos de bolas.
- Desalineación e inclinación en los rodamientos de rodillos.
- En los rodamientos de bolas de contacto angular, el ángulo de contacto que forma la bola con la pista interior varía respecto al ángulo que forma con la pista exterior.


Hipótesis de trabajo:

- Los elementos rodantes son rígidos, se omite la deformación de contacto (se excluye la influencia de la carga).
- No se considera la holgura radial.
- Se ignora el efecto "película" de la lubricación.
- Los elementos rodantes presentan rodadura pura, sin deslizamientos.
- Se considera que el movimiento se desarrolla en el plano radial.

BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES



PARA CONTINUAR >



MENÚ PRINCIPAL

- INTRODUCCIÓN
- CLASIFICACIÓN
- **CINÉTICA Y DINÁMICA**
- DEFECTOLOGÍA

LOS RODAMIENTOS Y SU DEFECTOLOGIA

CINÉTICA DE LOS RODAMIENTOS

VELOCIDADES ANGULARES

Las velocidades angulares de los diferentes elementos que componen un rodamiento, vienen dados a través de unas expresiones, que en el caso de que el **ANILLO EXTERIOR** esté FIJO, serán:

$$\omega_{31} = \omega_{21} + \omega_{32}$$

$$V_p = \omega_{21} \cdot (2 \cdot r_2) = \omega_{31} \cdot r_3$$

La velocidad angular (en rad/s) de las bolas respecto a su CIR es:

$$\omega_{21} = \frac{1}{2} \cdot \frac{r_3}{r_2} \cdot \omega_{31}$$


$$V_{O_2} = r_2 \cdot \omega_{21} = \frac{r_3}{2} \cdot \omega_{31}$$

La velocidad angular (en rad/s) del centro de la bolas alrededor del eje de los dos anillos (velocidad angular de la jaula) es:

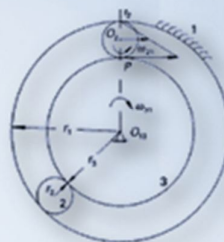
$$\omega_j = \frac{V_{O_2}}{r_2 + r_3} = \frac{1}{2} \cdot \frac{r_3}{r_2 + r_3} \cdot \omega_{31}$$

BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES

ANTERIOR



PARA CONTINUAR >



MENÚ PRINCIPAL

- INTRODUCCIÓN
- CLASIFICACIÓN
- **CINÉTICA Y DINÁMICA**
- DEFECTOLOGÍA

LOS RODAMIENTOS Y SU DEFECTOLOGÍA

CINÉTICA DE LOS RODAMIENTOS

VELOCIDADES ANGULARES

Estas velocidades angulares de los elementos para el **CASO GENERAL**, serán conforme se muestra en el diagrama siguiente:

BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES

MENÚ PRINCIPAL

- INTRODUCCIÓN
- CLASIFICACIÓN
- **CINÉTICA Y DINÁMICA**
- DEFECTOLOGÍA

LOS RODAMIENTOS Y SU DEFECTOLOGÍA

CINÉTICA Y DINÁMICA DE LOS RODAMIENTOS

RIGIDEZ: Carga - Desplazamiento

Las velocidades de rotación admisibles de cada tipo de rodamiento, vienen limitadas por parámetros como la rigidez. A igual carga e igual diámetro de los elementos rodantes, los rodamientos de rodillos presentan más superficie de contacto y se deforman menos que los de bolas, luego: **PUEDEN SOPORTAR MÁS CARGA.**

El diagrama muestra el desplazamiento (deformación) en función de la carga aplicada.

BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES

MENÚ PRINCIPAL

- INTRODUCCIÓN
- CLASIFICACIÓN
- CINÉTICA Y DINÁMICA
- DEFECTOLOGÍA

LOS RODAMIENTOS Y SU DEFECTOLOGÍA

CINÉTICA Y DINÁMICA DE LOS RODAMIENTOS

RIGIDEZ: Carga - Desplazamiento

El desplazamiento o deformación elástica viene dado por las expresiones siguientes:

$$\delta_n = K_n \cdot Q^T$$

δ_n → Desplazamiento elástico total entre dos anillos.

Q → Carga total aplicada al rodamiento.

T → Coeficiente (2/3 para bolas y 0,9 para rodillos).

K_n → Coeficiente sujeto al tipo de elemento rodante.

El desplazamiento elástico total entre los dos anillos (δ_n) es igual a la suma de:

- El desplazamiento elástico entre el elemento rodante y la pista del anillo interior (δ_i).
- El desplazamiento elástico entre el elemento rodante y la pista del anillo exterior (δ_e).

$$\delta_n = \delta_i + \delta_e$$

BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES

ANTERIOR
 PARA CONTINUAR

MENÚ PRINCIPAL

- INTRODUCCIÓN
- CLASIFICACIÓN
- CINÉTICA Y DINÁMICA
- DEFECTOLOGÍA

LOS RODAMIENTOS Y SU DEFECTOLOGÍA

CINÉTICA Y DINÁMICA DE LOS RODAMIENTOS

ÁREA DE CONTACTO

El área de contacto condiciona las cualidades del rodamiento, influyendo, por ejemplo, en su deformación, calentamiento o eficiencia.

	Rodamientos de bolas	Rodamientos de rodillos
La Pista	<p>Contacto de punto La superficie de contacto es ovalada cuando la carga es aplicada.</p>	<p>Contacto de línea La superficie de contacto es rectangular cuando la carga es aplicada.</p>
Características	Debido al contacto de puntos hay baja resistencia, los rodamientos de bolas son adecuados para aplicaciones de bajo torque y alta velocidad. Tienen mejores características acústicas.	Debido al contacto de líneas, el torque es mayor que en los rodamientos de bolas, pero la rigidez también es mayor.
Capacidad de carga	La capacidad de carga es baja, pero pueden soportar cargas en ambas direcciones, radial y axial.	La capacidad de carga es más alta. Los rodamientos de rodillos cilíndricos equipados con pastillas, pueden soportar una pequeña carga axial. Al combinar rodamientos de rodillos cónicos en pares, los mismos son capaces de soportar carga axial en ambas direcciones.

BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES

ANTERIOR
 PARA CONTINUAR

MENÚ PRINCIPAL

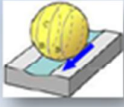
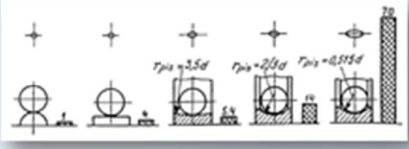
- INTRODUCCIÓN
- CLASIFICACIÓN
- **CINÉTICA Y DINÁMICA**
- DEFECTOLOGÍA

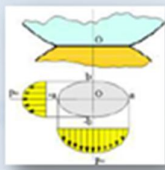
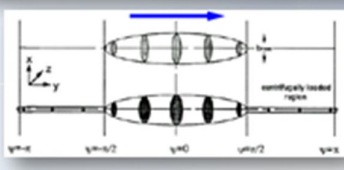
LOS RODAMIENTOS Y SU DEFECTOLOGÍA

CINÉTICA Y DINÁMICA DE LOS RODAMIENTOS

RELACIÓN CURVATURA-ÁREA DE CONTACTO

En función de la curvatura de las superficies de los elementos en contacto, es decir, elemento rodante y pista o camino de rodadura, el área de contacto será mayor o menor.

BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES
ANTERIOR
PARA CONTINUAR

MENÚ PRINCIPAL

- INTRODUCCIÓN
- CLASIFICACIÓN
- **CINÉTICA Y DINÁMICA**
- DEFECTOLOGÍA

LOS RODAMIENTOS Y SU DEFECTOLOGÍA

CINÉTICA Y DINÁMICA DE LOS RODAMIENTOS

REPARTO DE CARGAS

El reparto o distribución de cargas sobre los elementos, variará en función de la combinación de cargas aplicada.

Radial



Sector 180° máximo

Axial



Repartos sobre 360°

Radial + Axial



Distribución variable no uniforme



BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES
ANTERIOR
PARA CONTINUAR



MENÚ PRINCIPAL

- INTRODUCCIÓN
- CLASIFICACIÓN
- **CINÉTICA Y DINÁMICA**
- DEFECTOLOGÍA

LOS RODAMIENTOS Y SU DEFECTOLOGÍA

CINÉTICA Y DINÁMICA DE LOS RODAMIENTOS

REPARTO DE CARGAS

El reparto o distribución de cargas sobre los elementos, variará en función de la combinación de cargas aplicada.



RODAMIENTO DE BOLAS

Carga radial ó axial
(2 sentidos) ó combinadas



RODAMIENTO DE CONTACTO OBLICUO DE UNA O DOS FILERAS DE BOLAS

Cargas radial y axial combinadas (1 solo sentido)

Carga radial importante
Carga axial (2 sentidos)



RODAMIENTO A ROTULA DE BOLAS

Carga radial moderada
Carga axial débil (2 sentidos)

BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES

 **PARA CONTINUAR**



MENÚ PRINCIPAL

- INTRODUCCIÓN
- CLASIFICACIÓN
- **CINÉTICA Y DINÁMICA**
- DEFECTOLOGÍA

LOS RODAMIENTOS Y SU DEFECTOLOGÍA

CINÉTICA Y DINÁMICA DE LOS RODAMIENTOS

REPARTO DE CARGAS

El reparto o distribución de cargas sobre los elementos, variará en función de la combinación de cargas aplicada.



RODAMIENTO DE RODILLOS CILÍNDRICOS

Carga radial muy importante
Carga axial nula



RODAMIENTO DE RODILLOS CÓNICOS

Carga radial muy importante
Carga axial importante
(un solo sentido)



RODAMIENTO A ROTULA DE RODILLOS

Carga radial muy importante
Carga axial moderada
(2 sentidos)



AXIAL DE BOLAS

Carga axial muy importante
Carga radial nula

BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES

 **PARA CONTINUAR**

MENÚ PRINCIPAL

- INTRODUCCIÓN
- CLASIFICACIÓN
- **CINÉTICA Y DINÁMICA**
- DEFECTOLOGÍA

LOS RODAMIENTOS Y SU DEFECTOLOGÍA

CINÉTICA Y DINÁMICA DE LOS RODAMIENTOS

DISTRIBUCIÓN DE CARGAS

Si realizamos un *equilibrio de fuerzas* en el modelo de rodamiento, tenemos:

$$F_r = Q_0 + 2 \cdot \sum (Q_{\psi_x} \cdot \cos \psi_x)$$

El desplazamiento elástico siguiendo la línea de ángulo es:

$$\delta_{\psi_x} = \delta_0 \cdot \cos \psi_x$$

La relación entre el cociente de la carga de un elemento rodante y la carga máxima con el cociente de sus desplazamientos es:

$$\frac{Q_{\psi_x}}{Q_0} = \sqrt[7]{\frac{\delta_{\psi_x}}{\delta_0}}$$

BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES
ANTERIOR
PARA CONTINUAR

MENÚ PRINCIPAL

- INTRODUCCIÓN
- CLASIFICACIÓN
- **CINÉTICA Y DINÁMICA**
- DEFECTOLOGÍA

LOS RODAMIENTOS Y SU DEFECTOLOGÍA

CINÉTICA Y DINÁMICA DE LOS RODAMIENTOS

DISTRIBUCIÓN DE CARGAS

La carga de un elemento rodante respecto a la carga máxima es:

$$Q_{\psi_x} = Q_0 \cdot \sqrt[7]{\cos \psi_x}$$

La carga máxima en un elemento rodante respecto a la carga radial total aplicada al rodamiento es:

$$Q_0 = \frac{F_r}{Z \cdot J_r}$$

J_r ⇒ Factor que depende del número de elementos rodantes y del tipo de los mismos.

$$J_r = \frac{1 + 2 \cdot \sum (\cos \psi_x)^{\frac{7+1}{7}}}{Z}$$

BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES
ANTERIOR
PARA CONTINUAR

MENÚ PRINCIPAL

- INTRODUCCIÓN
- CLASIFICACIÓN
- **CINÉTICA Y DINÁMICA**
- DEFECTOLOGÍA

LOS RODAMIENTOS Y SU DEFECTOLOGÍA

CINÉTICA Y DINÁMICA DE LOS RODAMIENTOS

DISTRIBUCIÓN DE CARGAS

La carga de un elemento rodante respecto a la carga máxima es:

$$Q_{\psi_s} = Q_0 \cdot \sqrt[3]{\cos \psi_s}$$

La carga máxima en un elemento rodante respecto a la carga radial total aplicada al rodamiento es:

$$Q_0 = \frac{F_r}{Z \cdot J_f}$$

Tipo de elemento rodante	Número de elementos rodantes						
	6	7	8	10	12	15	20
Bolas	4,43	4,34	4,35	4,38	4,36	4,37	4,36
Cilindros	4,10	4,03	4,07	4,10	4,08	4,07	4,08

BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES

[ANTERIOR](#)
[PARA CONTINUAR](#)

MENÚ PRINCIPAL

- INTRODUCCIÓN
- CLASIFICACIÓN
- **CINÉTICA Y DINÁMICA**
- DEFECTOLOGÍA

LOS RODAMIENTOS Y SU DEFECTOLOGÍA

CINÉTICA Y DINÁMICA DE LOS RODAMIENTOS

DISTRIBUCIÓN DE CARGAS

Las fuerzas aplicadas sobre cada uno de los elementos rodantes del rodamiento, vienen determinadas instantáneamente, en función del ángulo α . La resultante total será el sumatorio de cada una de las fuerzas de cada elemento.

$$\vec{F}_3 = \vec{f}_{32}^0 + 2 \cdot \vec{f}_{32}^1 + 2 \cdot \vec{f}_{32}^2 + 2 \cdot \vec{f}_{32}^3 + \dots$$

$$\begin{cases} f_{32}^0 = f_{32}^0 \cdot \cos(0^\circ) \\ f_{32}^1 = f_{32}^0 \cdot \cos(\alpha) \\ f_{32}^2 = f_{32}^0 \cdot \cos(2\alpha) \\ f_{32}^3 = f_{32}^0 \cdot \cos(3\alpha) \end{cases}$$

$$F_3 = f_{32}^0 + 2 \cdot f_{32}^1 \cdot \cos(\alpha) + 2 \cdot f_{32}^2 \cdot \cos(2\alpha) + 2 \cdot f_{32}^3 \cdot \cos(3\alpha) + \dots$$

$$F_3 = f_{32}^0 + 2 \cdot f_{32}^0 \cdot \cos^2(\alpha) + 2 \cdot f_{32}^0 \cdot \cos^2(2\alpha) + 2 \cdot f_{32}^0 \cdot \cos^2(3\alpha) + \dots$$

BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES

[ANTERIOR](#)
[PARA CONTINUAR](#)

MENÚ PRINCIPAL

- INTRODUCCIÓN
- CLASIFICACIÓN
- **CINÉTICA Y DINÁMICA**
- DEFECTOLOGÍA

LOS RODAMIENTOS Y SU DEFECTOLOGIA

CINÉTICA Y DINÁMICA DE LOS RODAMIENTOS

DISTRIBUCIÓN DE CARGAS

Las fuerzas aplicadas sobre cada uno de los elementos rodantes del rodamiento, vienen determinadas instantáneamente, en función del ángulo α . La resultante total será el sumatorio de cada una de las fuerzas de cada elemento.

$$F_3 = f_{32}^0 + 2 \cdot f_{32}^0 \cdot \cos^2(\alpha) + 2 \cdot f_{32}^0 \cdot \cos^2(2\alpha) + 2 \cdot f_{32}^0 \cdot \cos^2(3\alpha) + \dots$$

$$F_3 = f_{32}^0 \cdot [1 + 2 \cdot \cos^2(\alpha) + 2 \cdot \cos^2(2\alpha) + 2 \cdot \cos^2(3\alpha) + \dots]$$

$$F_3 = f_{32}^0 \cdot K_0 \quad \left(K_0 = \frac{1}{J_R} = \frac{Z}{4} \right)$$

Por motivos de seguridad, se toma como valor de $K_0 = Z/5$, resultando que la carga que soporta el elemento rodante más cargado es:

$$f_{32}^0 = \frac{5 \cdot F_3}{Z}$$

BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES

PARA CONTINUAR

MENÚ PRINCIPAL

- INTRODUCCIÓN
- CLASIFICACIÓN
- **CINÉTICA Y DINÁMICA**
- DEFECTOLOGÍA

LOS RODAMIENTOS Y SU DEFECTOLOGIA

CINÉTICA Y DINÁMICA DE LOS RODAMIENTOS

Distribución de carga radial en un rodamiento (sin holgura)

- La carga radial total F_r se distribuye en varios elementos rodantes (parte inferior).
- No hay holguras.
- La línea de carga pasa por el centro de los anillos.
- Las referencias son el centro del anillo exterior y la línea de carga.
- Se analiza la posición donde un elemento rodante está en la línea de carga (posición de máxima carga sobre un elemento rodante).

Haz clic en la imagen para saber más acerca de la Nomenclatura empleada.

BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES

PARA CONTINUAR

LOS RODAMIENTOS Y SU DEFECTOLOGIA

CINÉTICA Y DINÁMICA DE LOS RODAMIENTOS

FACTOR DE DISTRIBUCIÓN DE CARGAS (ϵ)

INTRODUCCIÓN
CLASIFICACIÓN
CINÉTICA Y DINÁMICA
DEFECTOLOGIA

????????????????
????????????????
???:

Carga Radial F_R
Carga Axial F_A

$\epsilon = \frac{\delta_{max}}{\delta_{max} - \delta_{min}} \quad \epsilon \geq 1$
 $\epsilon = \frac{\delta_{proj}}{D} \quad \epsilon \leq 1$

$\epsilon = \infty$
 $0,5 < \epsilon < 1$
 $\epsilon > 1$
 $\epsilon = 0,5$
 $\epsilon = 1$
 $0 < \epsilon < 0,5$

BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES

ANTERIOR

PARA CONTINUAR

LOS RODAMIENTOS Y SU DEFECTOLOGIA

CINÉTICA Y DINÁMICA DE LOS RODAMIENTOS

FACTOR DE DISTRIBUCIÓN DE CARGAS (ϵ)

INTRODUCCIÓN
CLASIFICACIÓN
CINÉTICA Y DINÁMICA
DEFECTOLOGIA

Para un reparto de cargas radiales el factor de distribución de carga quedará:

Carga Radial F_R

$0 < \epsilon < 0,5$
 $\epsilon = 0,5$
 $\epsilon = 0,5$

BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES

ANTERIOR

PARA CONTINUAR

MENÚ PRINCIPAL

- INTRODUCCIÓN
- CLASIFICACIÓN
- **CINÉTICA Y DINÁMICA**
- DEFECTOLOGÍA

LOS RODAMIENTOS Y SU DEFECTOLOGÍA

CINÉTICA Y DINÁMICA DE LOS RODAMIENTOS

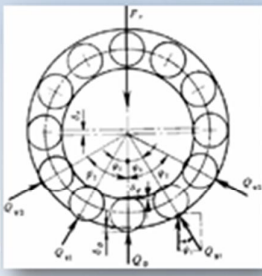
DISTRIBUCIÓN DE CARGAS

La carga sobre cada elemento rodante en función del semiángulo de la zona de carga y el factor de distribución de la misma, queda:

$$Q_{\psi_s} = Q_0 \cdot \left[1 - \frac{1}{2 \cdot \epsilon} \cdot (1 - \cos \psi_s) \right]^{\frac{1}{T}}$$

ψ_s → Semiángulo que abarca la zona de carga
 ϵ → Factor de distribución de carga
 T → Factor dependiente del tipo de elemento rodante (1/2 toma el valor 3/2 cuando es una bola y de 11/10 cuando es un cilindro).

$\epsilon = 0,5$ ($\psi_s = 90^\circ$) $Q_{\psi_s} = Q_0 \cdot \sqrt[3]{\cos \psi_s}$



BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES

ANTERIOR

PARA CONTINUAR

MENÚ PRINCIPAL

- INTRODUCCIÓN
- CLASIFICACIÓN
- **CINÉTICA Y DINÁMICA**
- DEFECTOLOGÍA

LOS RODAMIENTOS Y SU DEFECTOLOGÍA

CINÉTICA Y DINÁMICA DE LOS RODAMIENTOS

PARÁMETROS: Carga estática equivalente (P_0)

- Será una carga estática hipotética resultado de la combinación de la carga axial y radial que actúan sobre el rodamiento.
- Esta carga estática hipotética será radial pura (en rodamientos radiales) o axial centrada (en rodamientos axiales).
- En rodamientos de contacto angular de bolas o de rodillos cónicos se escoge el valor mayor de las siguientes 2 expresiones:

$$\begin{cases} P_0 = V \cdot F_r \\ P_0 = X_0 \cdot V \cdot F_r + Y_0 \cdot F_a \end{cases}$$

- En rodamientos de empuje se escoge el valor de la expresión:

$$P_0 = 2,3 \cdot \tan(\alpha) \cdot F_r + F_a$$

P_0 → Carga estática equivalente.
 F_a → Carga axial.
 F_r → Carga radial.
 α → Ángulo de contacto del rodamiento.

V → Factor de rotación.
 X_0 → Factor estático radial.
 Y_0 → Factor estático axial.



BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES

ANTERIOR

PARA CONTINUAR





MENÚ PRINCIPAL

- INTRODUCCIÓN
- CLASIFICACIÓN
- **CINÉTICA Y DINÁMICA**
- DEFECTOLOGÍA

LOS RODAMIENTOS Y SU DEFECTOLOGÍA

CINÉTICA Y DINÁMICA DE LOS RODAMIENTOS

PARÁMETROS: Capacidad estática de carga (C_0)

- Expresa la carga necesaria para causar una deformación, en el elemento rodante y en la pista de rodadura, de una diezmilésima (0,0001) del diámetro del elemento rodante en el punto de presión máxima.
- No es la carga de rotura ($C_{rotura} > 8C_0$) pero a partir de esta carga pueden quedar deformaciones permanentes.
- Es un estimador de la máxima carga estática admitida por el rodamiento y es el parámetro de referencia para seleccionar el rodamiento cuando se usa a velocidades muy bajas, oscilante, choques, ...
- En estos casos se busca un rodamiento que soporte cargas estáticas equivalentes que cumplan:

$$P_0 = \frac{C_0}{S_0}$$

$S_0 \rightarrow$ Factor de seguridad estático.

$$S_0 = \frac{C_0}{P_0}$$

$S_0 \rightarrow$ Depende de las condiciones de funcionamiento y del tipo de rodamiento. Su valor oscila entre 0,5 y 5, incluso superior.

BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES

ANTERIOR

PARA CONTINUAR



MENÚ PRINCIPAL

- INTRODUCCIÓN
- CLASIFICACIÓN
- **CINÉTICA Y DINÁMICA**
- DEFECTOLOGÍA

LOS RODAMIENTOS Y SU DEFECTOLOGÍA

CINÉTICA Y DINÁMICA DE LOS RODAMIENTOS

PARÁMETROS: Capacidad estática de carga (C_0)

RODAMIENTOS	RADIALES y CONTACTO ANGULAR	DE EMPUJE O AXIALES
BOLAS	$C_0 = i \cdot Z \cdot f_0 \cdot D_b^2 \cdot \cos \alpha$	$C_0 = i \cdot Z \cdot f_0 \cdot D_b \cdot \sin \alpha$
RODILLOS	$C_0 = i \cdot Z \cdot f_0 \cdot D_b^2 \cdot l_r \cdot \cos \alpha$	$C_0 = i \cdot Z \cdot f_0 \cdot D_b^2 \cdot \sin \alpha$

$C_0 \rightarrow$ Capacidad estática de carga.

$i \rightarrow$ Número de filas de elementos rodantes.

$Z \rightarrow$ Número de elementos rodantes.

$D_b \rightarrow$ Diámetro del rodillo o de la bola.

$D_r \rightarrow$ Longitud del rodillo.

$\alpha \rightarrow$ Ángulo de contacto del rodamiento.

$f_0 \rightarrow$ Coeficiente relativo al tipo de rodamiento (valores tabulados).

BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES

ANTERIOR

PARA CONTINUAR

MENÚ PRINCIPAL

- INTRODUCCIÓN
- CLASIFICACIÓN
- **CINÉTICA Y DINÁMICA**
- DEFECTOLOGÍA

LOS RODAMIENTOS Y SU DEFECTOLOGIA

CINÉTICA Y DINÁMICA DE LOS RODAMIENTOS

PARÁMETROS: Carga dinámica equivalente (P)

- Será una carga dinámica hipotética resultado de la combinación de la carga axial y radial constante que actúan sobre el rodamiento.
- Esta carga dinámica hipotética será radial pura (en rodamientos radiales) o axial centrada (en rodamientos axiales).
- En rodamientos radiales o de contacto angular se escoge una de las siguientes dos expresiones (para rodamientos de empuje también sirven, con ligeras variaciones):

$$\begin{cases} P = V \cdot F_r & \frac{F_a}{F_r} \leq \zeta \cdot \tan \alpha = e \\ P = X \cdot V \cdot F_r + Y \cdot F_a & \frac{F_a}{F_r} > \zeta \cdot \tan \alpha = e \end{cases}$$

$X F_r + Y F_a = P$

P → Carga dinámica equivalente.

F_a → Carga axial.

F_r → Carga radial.

α → Angulo de contacto del rodamiento.

V → Factor de rotación.

X → Factor dinámico radial.

Y → Factor dinámico axial.

ζ → Coeficiente del tipo de rodamiento

BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES

ANTERIOR PARA CONTINUAR

MENÚ PRINCIPAL

- INTRODUCCIÓN
- CLASIFICACIÓN
- **CINÉTICA Y DINÁMICA**
- DEFECTOLOGÍA

LOS RODAMIENTOS Y SU DEFECTOLOGIA

CINÉTICA Y DINÁMICA DE LOS RODAMIENTOS

PARÁMETROS: Carga dinámica equivalente (P)

- Será una carga dinámica hipotética resultado de la combinación de la carga axial y radial constante que actúan sobre el rodamiento.

$X F_r + Y F_a = P$

$$\begin{cases} P = V \cdot F_r & \frac{F_a}{F_r} \leq \zeta \cdot \tan \alpha = e \\ P = X \cdot V \cdot F_r + Y \cdot F_a & \frac{F_a}{F_r} > \zeta \cdot \tan \alpha = e \end{cases}$$

$\zeta = 1,1$ → Rodamientos radiales de bolas.

$\zeta = 1,5$ → Rodamientos radiales de rodillos.

$\zeta = 1,25$ → Rodamientos de contacto angular de bolas.

P → Carga dinámica equivalente.

F_a → Carga axial.

F_r → Carga radial.

α → Angulo de contacto del rodamiento.

V → Factor de rotación.

X → Factor dinámico radial.

Y → Factor dinámico axial.

ζ → Coeficiente del tipo de rodamiento

BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES

ANTERIOR PARA CONTINUAR

MENÚ PRINCIPAL

- INTRODUCCIÓN
- CLASIFICACIÓN
- CINÉTICA Y DINÁMICA
- DEFECTOLOGÍA

LOS RODAMIENTOS Y SU DEFECTOLOGÍA

CINÉTICA Y DINÁMICA DE LOS RODAMIENTOS

PARÁMETROS: Carga dinámica equivalente (P)

□ Será una carga dinámica hipotética resultado de la combinación de la carga variable axial y radial y velocidad variable que actúan sobre el rodamiento.

$$P = \sqrt[3]{\frac{\sum \left(\frac{1}{a_i} \cdot q_i \cdot n_i \cdot P_i^p \right)}{\sum (q_i \cdot n_i)}}$$

$$n_m = \frac{\sum (q_i \cdot n_i)}{100}$$

P_i → Carga dinámica equivalente parcial de cada intervalo de funcionamiento.

q_i → Porcentaje (en %) de duración parcial de cada intervalo de funcionamiento.

n_i → Velocidad de rotación parcial de cada intervalo de funcionamiento.

P → Carga dinámica equivalente.

n_m → Velocidad media de giro.

a_i → Coeficiente de duración de vida para cada intervalo de funcionamiento.

p → Exponente del coeficiente de duración de vida ($p=3$ para bola y $p=10/3$ para rodillo).

BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTOS

ANÁLISIS DE VIBRACIONES

ANTERIOR

PARA CONTINUAR

MENÚ PRINCIPAL

- INTRODUCCIÓN
- CLASIFICACIÓN
- CINÉTICA Y DINÁMICA
- DEFECTOLOGÍA

LOS RODAMIENTOS Y SU DEFECTOLOGÍA

CINÉTICA Y DINÁMICA DE LOS RODAMIENTOS

PARÁMETROS: Capacidad dinámica de carga (C)

□ Carga máxima que puede soportar un rodamiento en movimiento, sin que aparezcan signos de fatiga en ninguno de sus elementos (aros o elementos rodantes), durante un millón de revoluciones del mismo.

□ (Experimental) A partir de la capacidad dinámica de carga y de la carga dinámica equivalente de un rodamiento puede hacerse una estimación de la duración o vida nominal del rodamiento:

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P} \right)^p \cdot 10^6 \text{ revoluciones}$$

C → Capacidad dinámica de carga.

P → Carga dinámica equivalente

p → Coeficiente de duración de vida ($p=3$ para rodamientos de bolas y $p=10/3$ para rodamientos de rodillos).

BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTOS

ANÁLISIS DE VIBRACIONES

ANTERIOR

PARA CONTINUAR

MENÚ PRINCIPAL

- INTRODUCCIÓN
- CLASIFICACIÓN
- **CINÉTICA Y DINÁMICA**
- DEFECTOLOGÍA

LOS RODAMIENTOS Y SU DEFECTOLOGÍA

CINÉTICA Y DINÁMICA DE LOS RODAMIENTOS

PARÁMETROS: Otros parámetros

$\frac{C}{P}$

A la relación entre la capacidad dinámica de carga y la carga dinámica equivalente se le denomina **Seguridad de Carga**.

$$\frac{C}{P} = \frac{f_L}{f_n \cdot f_H}$$

f_L → Factor de esfuerzos dinámicos.

f_n → Factor de seguridad de velocidad.

f_H → Factor de dureza.

P_u

→ **Carga límite de fatiga** Si $P < P_u$ no se producirá fatiga en el rodamiento.

Carga mínima La menor carga necesaria para que el rodamiento funcione correctamente.

- Carga mínima = $0.01 \cdot C$, en los rodamientos de bolas.
- Carga mínima = $0.02 \cdot C$, en los rodamientos de rodillos.

BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES

ANTERIOR

PARA CONTINUAR

MENÚ PRINCIPAL

- INTRODUCCIÓN
- CLASIFICACIÓN
- **CINÉTICA Y DINÁMICA**
- DEFECTOLOGÍA

LOS RODAMIENTOS Y SU DEFECTOLOGÍA

CINÉTICA Y DINÁMICA DE LOS RODAMIENTOS

Duración o vida útil, VIDA NOMINAL

L

→ **La duración o vida útil de un rodamiento**. Número total de revoluciones (o número de horas operando), en condiciones operativas constantes de velocidad y carga, que está el rodamiento funcionando hasta alcanzar un fallo por fatiga del material.

Se ha comprobado que, en condiciones de laboratorio (bien alineado, buena lubricación, sin suciedad, sin humedad y en condiciones acotadas de carga y velocidad) los rodamientos se deterioran por fatiga del material.

L_{10}

→ **La vida nominal de un rodamiento** se basa en un modelo estadístico al 90% y se define como el n° total de revoluciones que el 90% de los rodamientos de un grupo idéntico, sometidos a iguales condiciones operativas de laboratorio, alcanzará o sobrepasará antes de que ocurra el fallo por fatiga del metal.

Para rodamientos operando a velocidad constante, la vida nominal (90% de confianza) se expresa como el número total de horas operativas.

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P} \right)^p \cdot 10^6 \text{ rev.} = \frac{10^6}{60 \cdot n} \cdot \left(\frac{C}{P} \right)^p \text{ horas}$$

BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES

ANTERIOR

PARA CONTINUAR

MENÚ PRINCIPAL

- INTRODUCCIÓN
- CLASIFICACIÓN
- **CINÉTICA Y DINÁMICA**
- DEFECTOLOGÍA

LOS RODAMIENTOS Y SU DEFECTOLOGÍA

CINÉTICA Y DINÁMICA DE LOS RODAMIENTOS

Selección de rodamientos según su vida útil

Teniendo en cuenta el valor de la vida nominal de los rodamientos, dependiendo del tipo de maquinaria, y el tipo de servicio que el rodamiento va a dar, el siguiente cuadro muestra la vida útil recomendada para cada aplicación.

Clasificación del servicio	Aplicaciones en maquinarias y vida requerida (referencia) L_{10} $\times 10^6$ h				
	~4	4-12	12-30	30-60	60~
Máquinas usadas por períodos cortos y utilizadas solo ocasionalmente.	<ul style="list-style-type: none"> Aplicaciones domésticas Herramientas de mano eléctricas 	<ul style="list-style-type: none"> Maquinaria agrícola Equipos de oficina 			
Utilización durante períodos cortos e intermitentemente, pero con requerimientos de alta confiabilidad.	<ul style="list-style-type: none"> Equipos médicos Instrumentos de medición 	<ul style="list-style-type: none"> Motores de accionamientos de aire rotacional Equipos de construcciones Elevadores Cinchas 	<ul style="list-style-type: none"> Grúas (Poleas) 		
Máquinas que no se usan constantemente, pero se utilizan por períodos largos.	<ul style="list-style-type: none"> Automóviles Vehículos de dos ruedas 	<ul style="list-style-type: none"> Motores pequeños Fundicionarias Transmisiones de engranes en general Máquinas motrices 	<ul style="list-style-type: none"> Muebles de máquinas Motores industriales Tribunales Orbes vibratorias 	<ul style="list-style-type: none"> Transmisiones de engranes principales Máquinas de procesamiento Rodillos de calandrias Máquinas de impresión 	
Máquinas en constante uso durante las 8 horas del día.		<ul style="list-style-type: none"> Laminadores Equilibradores Transportadores Centrifugas 	<ul style="list-style-type: none"> Ejes de vehículos ferroviarios Accionamientos de uso Motores grandes Centrifugas 	<ul style="list-style-type: none"> Ejes de colectoras Motores de tracción Elevadores mineros Volantes a presión 	<ul style="list-style-type: none"> Máquinas de fabricación de papel Equipos de propulsión para barcos
24 horas de operación continua, no intermitente.					<ul style="list-style-type: none"> Equipos de accionamiento de agua Bombas de drenaje Perforadores para minería Equipos para generación de potencia

Haz clic en la imagen para saber más acerca del Proceso de cálculo de la vida nominal.

BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTOS
ANÁLISIS DE VIBRACIONES
ANTERIOR
PARA CONTINUAR

MENÚ PRINCIPAL

- INTRODUCCIÓN
- CLASIFICACIÓN
- **CINÉTICA Y DINÁMICA**
- DEFECTOLOGÍA

LOS RODAMIENTOS Y SU DEFECTOLOGÍA

CINÉTICA Y DINÁMICA DE LOS RODAMIENTOS

Duración o vida útil, VIDA NOMINAL

S → **Probabilidad de supervivencia de un rodamiento** (normalizada). Es el cociente entre el nº de rodamientos que superan un determinado nº de revoluciones sin fallo y el nº total de rodamientos de la muestra.

F → **Probabilidad de fallo de un rodamiento** (normalizado).

F = 1 - S

S → **L**

BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTOS
ANÁLISIS DE VIBRACIONES
ANTERIOR
PARA CONTINUAR

Página | 265

MENÚ PRINCIPAL

■ INTRODUCCIÓN

■ CLASIFICACIÓN

■ CINÉTICA Y DINÁMICA

■ DEFECTOLOGIA

LOS RODAMIENTOS Y SU DEFECTOLOGIA

CINÉTICA Y DINÁMICA DE LOS RODAMIENTOS

Distribución de carga: NOMENCLATURA

F_r → Fuerza Radial Total.
 ψ → Angulo formado por el centro de un elemento rodante con la línea de carga.
 δ_r → Desplazamiento relativo entre los anillos, siguiendo la línea de carga.
 δ_v → Desplazamiento elástico siguiendo la línea de ángulo ψ .
 δ_ψ → Desplazamiento elástico siguiendo la línea de carga.
 Q_v → Carga aplicada a un elemento rodante de ángulo ψ .
 Q_0 → Carga máxima aplicada a un elemento rodante (carga aplicada siguiendo la línea de carga, $\psi = 0^\circ$).

BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES

VOLVER

MENÚ PRINCIPAL

■ INTRODUCCIÓN

■ CLASIFICACIÓN

■ CINÉTICA Y DINÁMICA

■ DEFECTOLOGÍA

LOS RODAMIENTOS Y SU DEFECTOLOGÍA

CINÉTICA Y DINÁMICA DE LOS RODAMIENTOS


COMBINACIÓN DE CARGAS

Las combinaciones de cargas que se aplican sobre un rodamiento se puede descomponer en cargas axiales y radiales, que en función del tipo de rodamiento al que se le apliquen, darán lugar a un punto de aplicación y a una distribución de cargas diferentes.

BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTOS
ANÁLISIS DE VIBRACIONES

VOLVER





MENÚ PRINCIPAL

- INTRODUCCIÓN
- CLASIFICACIÓN
- **CINÉTICA Y DINÁMICA**
- DEFECTOLOGÍA

LOS RODAMIENTOS Y SU DEFECTOLOGIA

CINÉTICA Y DINÁMICA DE LOS RODAMIENTOS

PROCESO DE CALCULO DE LA VIDA NOMINAL

- 1 Selección del tamaño y tipo de rodamiento.
 - Requisitos técnicos.
 - Condiciones operativas.
- 2 Cálculo de la carga dinámica equivalente que soportará el rodamiento.

$$P = \sqrt[3]{\frac{\sum \left(\frac{1}{a_i} \cdot q_i \cdot n_i \cdot P_i^3 \right)}{\sum (q_i \cdot n_i)}}$$
- 3 Determinación final de la vida nominal.

La estimación de la vida nominal puede ser mejorada considerando factores operativos, técnicos o de fiabilidad:

- Vida nominal ajustada (ISO 281).
- Vida nominal ajustada ampliada (ISO 281).

BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES

VOLVER



MENÚ PRINCIPAL

- INTRODUCCIÓN
- CLASIFICACIÓN
- **DEFECTO Y VIBRACIÓN**
- MANTENIMIENTO





VIBRACIONES . EFECTOS Y USOS

INTRODUCCIÓN A LAS VIBRACIONES MECÁNICAS

CONCEPTO DE VIBRACIÓN.

La vibración es el movimiento de oscilante o irregular de una máquina (o elemento de ella) en cualquier dirección del espacio alrededor de una posición de equilibrio o de referencia. Los términos *movimiento*, *oscilación* y *vibración* no son sinónimos. Por ejemplo, una rueda se mueve pero no oscila; y un péndulo simple oscila pero no vibra.

La diferencia específica del concepto de vibración (u oscilación) se encuentra haciendo intervenir el **concepto de energía**. La oscilación y la vibración se prolongan en el tiempo mediante un proceso de conversión entre distintos tipos de energía.

Para que un sistema mecánico vibre es necesario que aparezca un tipo de energía especial: la **ENERGÍA de DEFORMACIÓN** o la **ENERGÍA POTENCIAL ELÁSTICA**.

BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES

PARA CONTINUAR

MENÚ PRINCIPAL

- **INTRODUCCIÓN**
- CLASIFICACIÓN
- DEFECTO Y VIBRACIÓN
- MANTENIMIENTO

VIBRACIONES . EFECTOS Y USOS

INTRODUCCIÓN A LAS VIBRACIONES MECÁNICAS

¿Qué es una ONDA?

Es una perturbación que sin ser en si mismo algo material viaja de un sitio a otro transportando energía.

La elasticidad de la materia provoca la transmisión de la perturbación entre las capas, con lo que la forma de la onda se propaga a través del medio.

En un movimiento ondulatorio se transmite energía de una partícula a otra pero no materia, y dicha transmisión esta condicionada por la capacidad del medio para propagar las ondas.

BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES

ANTERIOR

PARA CONTINUAR

MENÚ PRINCIPAL

- **INTRODUCCIÓN**
- CLASIFICACIÓN
- DEFECTO Y VIBRACIÓN
- MANTENIMIENTO

VIBRACIONES . EFECTOS Y USOS

INTRODUCCIÓN A LAS VIBRACIONES MECÁNICAS

Representación grafica de una ONDA

ELEMENTOS DE UNA ONDA

LA CRESTA (C)
Es el punto que ocupa la posición más alta en una onda.

VALLE (V)
Es el punto más bajo de la onda.

ELONGACIÓN
Es la distancia comprendida entre la posición de equilibrio de un punto en oscilación y la posición donde se encuentra un objeto en un instante determinado.

BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES

ANTERIOR

PARA CONTINUAR





MENÚ PRINCIPAL

- **INTRODUCCIÓN**
- CLASIFICACIÓN
- DEFECTO Y VIBRACIÓN
- MANTENIMIENTO

VIBRACIONES . EFECTOS Y USOS

INTRODUCCIÓN A LAS VIBRACIONES MECÁNICAS

Representación grafica de una ONDA



ELEMENTOS DE UNA ONDA

LA AMPLITUD
La preparación entre su posición de equilibrio y su máxima altura es la amplitud (A).


LA LONGITUD
La distancia entre dos crestas consecutivas de una misma onda entre dos valles consecutivos; generalmente, la longitud de onda se considera como la distancia entre dos puntos que están en el mismo estado de vibración.

ONDA COMPLETA
Es cuando todo el punto de oscilación ha tomado todo los valores positivos y negativos.

BANCO DE ENSAYO DE RENDIMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES

ANTERIOR

PARA CONTINUAR >



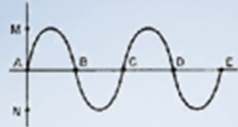
MENÚ PRINCIPAL

- **INTRODUCCIÓN**
- CLASIFICACIÓN
- DEFECTO Y VIBRACIÓN
- MANTENIMIENTO

VIBRACIONES . EFECTOS Y USOS

INTRODUCCIÓN A LAS VIBRACIONES MECÁNICAS

Representación grafica de una ONDA



ELEMENTOS DE UNA ONDA

EL PERÍODO
Cuando producimos ondas en sucesivos impulsos hacia arriba y hacia abajo, las ondas formadas viajan. El tiempo que se toma una onda en pasar por un punto del medio material perturbado es lo que constituye el período. Se designa por P.

LA FRECUENCIA
Si por el contrario controlamos el número de ondas que pasan por un punto la unidad de tiempo, entonces nos referimos a la frecuencia. Se designa por F

BANCO DE ENSAYO DE RENDIMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES

ANTERIOR

PARA CONTINUAR >

MENÚ PRINCIPAL

- **INTRODUCCIÓN**
- CLASIFICACIÓN
- DEFECTO Y VIBRACIÓN
- MANTENIMIENTO

VIBRACIONES . EFECTOS Y USOS

INTRODUCCIÓN A LAS VIBRACIONES MECÁNICAS

Modelo Mecánico

En general, se suponen vibraciones de pequeña amplitud porque fuera de ellas dejan de tener validez la mayoría de las hipótesis que se establecen para su estudio. Supongamos el sistema de la figura, formado por una masa principal m , un elemento recuperador elástico de constante k y un dispositivo amortiguador de constante c .



Notación:

K : constante de rigidez elástica

m : masa principal

c : coeficiente de amortiguación

F : resultante de las fuerzas exteriores

l_0 : longitud inicial del muelle

x_{est} : deformación en equilibrio estático

x : desplazamiento

BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES

ANTERIOR

PARA CONTINUAR

MENÚ PRINCIPAL

- **INTRODUCCIÓN**
- CLASIFICACIÓN
- DEFECTO Y VIBRACIÓN
- MANTENIMIENTO

VIBRACIONES . EFECTOS Y USOS

INTRODUCCIÓN A LAS VIBRACIONES MECÁNICAS

Modelo Mecánico

Consideraremos las siguientes hipótesis:

- La masa tiene un guiado vertical, sin rozamiento, que permite únicamente desplazamientos verticales, e impide otros desplazamientos y giros.
- El muelle tiene masa despreciable frente a la masa principal del sistema y su fuerza recuperadora elástica es proporcional a su deformación.
- El dispositivo amortiguador tiene sus masas móviles despreciables frente a la masa principal del sistema y está basado en un rozamiento de tipo viscoso, con fuerza de rozamiento opuesta a la velocidad y proporcional a ella.
- El sistema se supone situado en el vacío.

La ecuación del equilibrio dinámico permite establecer la **ecuación diferencial del movimiento**:

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = F$$

F : fuerza aplicada directamente al sistema.
 $m\ddot{x}$: fuerza de inercia.
 $c\dot{x}$: fuerza amortiguadora de tipo viscoso.
 kx : fuerza elástica
 Condiciones: $m > 0$, $c > 0$ y $m > 0$.

BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES

ANTERIOR

PARA CONTINUAR

MENÚ PRINCIPAL

- **INTRODUCCIÓN**
- CLASIFICACIÓN
- DEFECTO Y VIBRACIÓN
- MANTENIMIENTO

VIBRACIONES . EFECTOS Y USOS

INTRODUCCIÓN A LAS VIBRACIONES MECÁNICAS

Representación de las vibraciones

Una vibración suele tratarse de una onda compleja, sin embargo para un su estudio podemos descomponerlas en varias mas sencillas mediante la aplicación de series de fourier.

a) $X_1 = A_1 \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot f_1)$

b) $X_2 = A_2 \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot f_2)$

c) $X_{total} = X_1 + X_2$

Hay principalmente 2 formas de representar una onda, mediante una representación temporal o una representación frecuencial.

BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES

ANTERIOR

PARA CONTINUAR

MENÚ PRINCIPAL

- **INTRODUCCIÓN**
- CLASIFICACIÓN
- DEFECTO Y VIBRACIÓN
- MANTENIMIENTO

VIBRACIONES . EFECTOS Y USOS

INTRODUCCIÓN A LAS VIBRACIONES MECÁNICAS

Ejemplos de señales típicas

Aquí podemos ver unos ejemplos de señales de onda, de distintos elementos, representadas tanto en frecuencia como en tiempo.

<p>Señal temporal de un diapason.</p>	<p>Señal frecuencial de un diapason.</p>
<p>Señal temporal del pistón de un motor.</p>	<p>Señal frecuencial del pistón de un motor.</p>
<p>Señal temporal de una máquina.</p>	<p>Señal frecuencial de una máquina.</p>

BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES

ANTERIOR

PARA CONTINUAR

MENÚ PRINCIPAL

- INTRODUCCIÓN
- **CLASIFICACIÓN**
- DEFECTO Y VIBRACIÓN
- MANTENIMIENTO

VIBRACIONES . EFECTOS Y USOS

CLASIFICACIÓN DE LAS VIBRACIONES MECÁNICAS

¿Cómo podemos clasificar las vibraciones?

No resulta sencillo clasificar las vibraciones, ya que podríamos hablar de un tipo de vibración por cada tipo de movimiento generado, por lo tanto clasificaremos el tipo de movimiento que generan, que vendrá determinado por las propiedades del material del sistema, su disposición y la excitación del mismo. De esta forma podremos clasificar su movimiento dependiendo de varios parámetros:

Vibración lineal: si los componentes básicos de un sistema tienen un comportamiento lineal la vibración resultante es lineal.

Vibración no lineal: se produce si alguno de sus componentes se comporta como no lineal.

El comportamiento lineal de un elemento facilita su estudio, en la realidad todo elemento de comporta como no lineal pero los resultados de su estudio no difieren, en su mayoría, a los realizados si se consideran como elementos lineales. Un ejemplo de ello es el resorte, donde según la ley de Hooke el comportamiento fuerza-deformación es lineal.

BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES

PARA CONTINUAR

MENÚ PRINCIPAL

- INTRODUCCIÓN
- **CLASIFICACIÓN**
- DEFECTO Y VIBRACIÓN
- MANTENIMIENTO

VIBRACIONES . EFECTOS Y USOS

CLASIFICACIÓN DE LAS VIBRACIONES MECÁNICAS

¿Cómo podemos clasificar las vibraciones?

Cuando el comportamiento vibratorio de un sistema se puede representar por medio de una ecuación matemática entonces se dice que la **vibración es determinística**, pero si se tiene que determinar por ecuaciones probabilísticas entonces la **vibración es probabilística, aleatoria o random**.

Vibración determinística

Vibración aleatoria

BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES

ANTERIOR

PARA CONTINUAR

MENÚ PRINCIPAL

- INTRODUCCIÓN
- **CLASIFICACIÓN**
- DEFECTO Y VIBRACIÓN
- MANTENIMIENTO

VIBRACIONES . EFECTOS Y USOS

CLASIFICACIÓN DE LAS VIBRACIONES MECÁNICAS

¿Cómo podemos clasificar las vibraciones?

Tomando como modelo mecánico un sistema de 1 grado de libertad. Otra variable para clasificar los tipos de vibraciones de una forma bastante clara es la existencia o no de excitación del sistema. De esta forma podemos tener:

Vibraciones Libres. cuando no existen fuerzas o acciones exteriores directamente aplicadas al sistema a lo largo del tiempo.

Vibraciones Forzadas. cuando existen acciones o excitaciones directamente aplicadas al sistema a lo largo del tiempo, además de las fuerzas o momentos internos.




BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES

ANTERIOR

PARA CONTINUAR >

MENÚ PRINCIPAL

- INTRODUCCIÓN
- **CLASIFICACIÓN**
- DEFECTO Y VIBRACIÓN
- MANTENIMIENTO

VIBRACIONES . EFECTOS Y USOS

CLASIFICACIÓN DE LAS VIBRACIONES MECÁNICAS

¿Cómo podemos clasificar las vibraciones?

Tanto las vibraciones libres como las forzadas pueden subdividirse, dependiendo de la existencia o no de fuerzas resistentes que amortiguan el movimiento vibratorio, en:

- **Sin amortiguamiento.** No existe resistencia pasiva al movimiento del sistema.
- **Con amortiguamiento.** Existen resistencias pasivas al movimiento del sistema, es decir, fuerzas o momentos disipativos que amortiguan el movimiento vibratorio.



BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES

ANTERIOR

PARA CONTINUAR >

MENÚ PRINCIPAL
■ INTRODUCCIÓN
■ **CLASIFICACIÓN**
■ DEFECTO Y VIBRACIÓN
■ MANTENIMIENTO

VIBRACIONES . EFECTOS Y USOS

CLASIFICACIÓN DE LAS VIBRACIONES MECÁNICAS

¿Cómo podemos clasificar las vibraciones?

VIBRACIONES LIBRES SIN AMORTIGUAMIENTO.

La ecuación diferencial del movimiento es $mx'' + kx = 0$, su ecuación característica es $mr^2 + k = 0$, siendo sus raíces imaginarias conjugadas:

$$r = \pm \sqrt{\frac{k}{m}} i$$

La solución general es de la forma $x = a \sin(\omega_n t + \phi)$ donde a (amplitud) y ϕ (fase inicial) son constantes que se pueden determinar, con las condiciones iniciales. La frecuencia natural de la vibración y el periodo son:

$$\omega_n = \sqrt{\frac{k}{m}}; \quad T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$$

En este tipo de vibraciones se cumple el principio de la conservación de la energía mecánica, es decir, la suma de la energía cinética y el potencial elástico es constante e igual a la energía total comunicada inicialmente al sistema, por lo que:

$$\frac{m}{2} v'^2 + \frac{k}{2} x^2 = Cte = \frac{1}{2} k a^2$$

BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES

ANTERIOR

PARA CONTINUAR

MENÚ PRINCIPAL
■ INTRODUCCIÓN
■ **CLASIFICACIÓN**
■ DEFECTO Y VIBRACIÓN
■ MANTENIMIENTO

VIBRACIONES . EFECTOS Y USOS

CLASIFICACIÓN DE LAS VIBRACIONES MECÁNICAS

¿Cómo podemos clasificar las vibraciones?

VIBRACIONES LIBRES CON AMORTIGUAMIENTO.

En todos los movimientos oscilantes reales, se disipa energía mecánica debido a algún tipo de fricción o rozamiento, de forma que dejado libremente a sí mismo, un muelle o péndulo finalmente deja de oscilar. Este movimiento se denomina amortiguado y se caracteriza porque tanto la amplitud como la energía mecánica disminuyen con el tiempo.

La ecuación diferencial que describe el movimiento es $mx'' + c x' + kx = 0$; la ecuación característica es $mr^2 + cr + k = 0$, cuyas raíces son:

$$r = -\frac{c}{2m} \pm \sqrt{\left(\frac{c}{2m}\right)^2 - \frac{k}{m}}$$

BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES

ANTERIOR

PARA CONTINUAR

MENÚ PRINCIPAL

- INTRODUCCIÓN
- **CLASIFICACIÓN**
- DEFECTO Y VIBRACIÓN
- MANTENIMIENTO

VIBRACIONES . EFECTOS Y USOS

CLASIFICACIÓN DE LAS VIBRACIONES MECÁNICAS

¿Cómo podemos clasificar las vibraciones?

VIBRACIONES LIBRES CON AMORTIGUAMIENTO.

Si el sistema es amortiguado, se presentan tres casos posibles:

a) **Amortiguamiento supercrítico:** $\frac{c^2}{4m^2} > \frac{k}{m} \Rightarrow c > 2\sqrt{km}$

Las raíces r_1 y r_2 son reales y distintas. La solución de esta ecuación, amortiguada pero no armónica, es de la forma:

$$x = C_1 e^{r_1 t} + C_2 e^{r_2 t}$$

donde C_1 y C_2 son las constantes de integración. El sistema no oscila, simplemente vuelve a la posición de equilibrio, cuanto mayor es el amortiguamiento, más tiempo tarda el sistema en alcanzar la posición de equilibrio.

BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES

ANTERIOR

PARA CONTINUAR

MENÚ PRINCIPAL

- INTRODUCCIÓN
- **CLASIFICACIÓN**
- DEFECTO Y VIBRACIÓN
- MANTENIMIENTO

VIBRACIONES . EFECTOS Y USOS

CLASIFICACIÓN DE LAS VIBRACIONES MECÁNICAS

¿Cómo podemos clasificar las vibraciones?

VIBRACIONES LIBRES CON AMORTIGUAMIENTO.

Si el sistema es amortiguado, se presentan tres casos posibles:

a) **Amortiguamiento crítico:** $\frac{c^2}{4m^2} = \frac{k}{m} \Rightarrow c = 2\sqrt{km} = c_{cr}$

La raíz de la ecuación característica es doble e igual a $r = -\frac{c_{cr}}{2m}$

La solución, amortiguada pero no armónica, es de la forma

$$x = e^{-\frac{c_{cr}}{2m} t} (C_1 + C_2 t)$$

El sistema vuelve a la posición de equilibrio en el tiempo más breve posible sin oscilación. Tiene una importancia especial porque separa los movimientos aperiódicos (no oscilatorios) de los oscilatorios amortiguados.

BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES

ANTERIOR

PARA CONTINUAR

MENÚ PRINCIPAL

- INTRODUCCIÓN
- **CLASIFICACIÓN**
- DEFECTO Y VIBRACIÓN
- MANTENIMIENTO

VIBRACIONES . EFECTOS Y USOS

CLASIFICACIÓN DE LAS VIBRACIONES MECÁNICAS

¿Cómo podemos clasificar las vibraciones?

VIBRACIONES LIBRES CON AMORTIGUAMIENTO.

Si el sistema es amortiguado, se presentan tres casos posibles:

a) **Amortiguamiento subcrítico:** $\frac{c^2}{4m^2} < \frac{k}{m} \Rightarrow c < 2\sqrt{km}$

Las raíces son imaginarias conjugadas e iguales a:

$$r = -\frac{c}{2m} \pm \sqrt{\frac{k}{m} - \left(\frac{c}{2m}\right)^2} i = -\frac{c}{2m} \pm \omega'_a i$$

y la frecuencia de la vibración amortiguada es:

$$\omega'_a = \sqrt{\frac{k}{m} - \left(\frac{c}{2m}\right)^2}$$

La solución es de la forma:

$$x = ae^{-\frac{c}{2m}t} \sin(\omega'_a t + \phi)$$

BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES

ANTERIOR

PARA CONTINUAR

MENÚ PRINCIPAL

- INTRODUCCIÓN
- **CLASIFICACIÓN**
- DEFECTO Y VIBRACIÓN
- MANTENIMIENTO

VIBRACIONES . EFECTOS Y USOS

CLASIFICACIÓN DE LAS VIBRACIONES MECÁNICAS

¿Cómo podemos clasificar las vibraciones?

VIBRACIONES LIBRES CON AMORTIGUAMIENTO.

Si el sistema es amortiguado, se presentan tres casos posibles:

a) **Amortiguamiento subcrítico:**

Esta solución es aproximadamente armónica, es decir, existe una cierta periodicidad en el movimiento con intervalos temporales medidos por el pseudoperíodo T' , que se puede expresar en función del período T correspondiente a la vibración no amortiguada a través de la relación.

$$T' = \frac{2\pi}{\omega'_a} = \frac{T}{\sqrt{1 - \left(\frac{c}{c_{cr}}\right)^2}}$$

Elevando al cuadrado la expresión de la frecuencia de la vibración amortiguada, se tiene


$$\omega_n'^2 = \frac{k}{m} - \frac{c^2}{4m^2} = \frac{k}{m} \left(1 - \frac{c^2}{4km}\right) = \omega_n^2 \left(1 - \frac{c^2}{c_{cr}^2}\right) \Rightarrow \left(\frac{\omega_n'}{\omega_n}\right)^2 + \left(\frac{c}{c_{cr}}\right)^2 = 1$$

BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES

ANTERIOR

PARA CONTINUAR





MENÚ PRINCIPAL

- INTRODUCCIÓN
- **CLASIFICACIÓN**
- DEFECTO Y VIBRACIÓN
- MANTENIMIENTO

VIBRACIONES . EFECTOS Y USOS

CLASIFICACIÓN DE LAS VIBRACIONES MECÁNICAS

¿Cómo podemos clasificar las vibraciones?

VIBRACIONES LIBRES CON AMORTIGUAMIENTO.

Si el sistema es amortiguado, se presentan tres casos posibles:

a) Amortiguamiento subcrítico:
 Relación que permite la determinación del coeficiente de amortiguamiento para unas frecuencias dadas a priori o medidas experimentalmente.
 Denominando factor de amortiguación y factor de frecuencias $\Omega = \frac{\omega}{\omega_n}$

se obtiene la ecuación de una elipse $f^2 + \omega^2 = 1$

En las vibraciones amortiguadas, por ser un movimiento aperiódico no se cumple el principio de conservación de la energía mecánica, pero si el de la energía total, de forma que la suma de la energía cinética, el potencial elástico y la energía disipada en forma de calor, debido a la existencia de amortiguamiento, se mantiene constante, los dos primeros términos disminuyen con el tiempo y la energía disipada tiende a alcanzar el valor máximo, es decir, existe transformación de energía mecánica en calorífica.


$$\frac{m}{2} \dot{x}^2 + \frac{k}{2} x^2 + c \int_0^t \dot{x}^2 dt = Cte$$

$$f = \frac{c}{c_{cr}}$$

BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES

ANTERIOR

PARA CONTINUAR



MENÚ PRINCIPAL

- INTRODUCCIÓN
- **CLASIFICACIÓN**
- DEFECTO Y VIBRACIÓN
- MANTENIMIENTO

VIBRACIONES . EFECTOS Y USOS

CLASIFICACIÓN DE LAS VIBRACIONES MECÁNICAS

¿Cómo podemos clasificar las vibraciones?

VIBRACIONES FORZADAS SIN AMORTIGUAMIENTO.

Para mantener un sistema oscilando es necesario suministrar energía al sistema, cuando esto se lleva a cabo se dice que la vibración es forzada. Si se introduce energía en el sistema a un ritmo mayor del que se disipa, la energía aumenta con el tiempo, lo que se manifiesta por un aumento de la amplitud del movimiento. Si la energía se proporciona al mismo ritmo que se disipa, la amplitud permanece constante con el tiempo.

La ecuación diferencial del movimiento, teniendo en cuenta que la fuerza es de tipo periódico, es: $m\ddot{x} + kx = F_0 \cos \omega t$ donde F_0 es la amplitud y ω la frecuencia de la fuerza excitadora.

La solución general de la ecuación diferencial se obtiene añadiendo a la solución general de la homogénea una solución particular de la completa ($x = x_h + x_p$). La ecuación característica es $mr^2 + k = 0$, las raíces de esta ecuación son imaginarias conjugadas

$$r = \pm \sqrt{\frac{k}{m}} i$$

BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES

ANTERIOR

PARA CONTINUAR

MENÚ PRINCIPAL

- INTRODUCCIÓN
- **CLASIFICACIÓN**
- DEFECTO Y VIBRACIÓN
- MANTENIMIENTO

VIBRACIONES . EFECTOS Y USOS

CLASIFICACIÓN DE LAS VIBRACIONES MECÁNICAS

¿Cómo podemos clasificar las vibraciones?

VIBRACIONES FORZADAS SIN AMORTIGUAMIENTO.

La ecuación característica es $mr^2+k=0$, las raíces de esta ecuación son imaginarias conjugadas tal que:

$$r = \pm \sqrt{\frac{k}{m}} i$$

La solución general de la homogénea es $x_h = a \sin(\omega_n t + \phi)$. La solución particular de la completa es $x_p = A \cos \omega t$. Así, la solución general tiene por expresión:

$$x = a \cos(\omega_n t + \phi) + \frac{F_0/k}{1 - \frac{\omega^2}{\omega_n^2}} \cos \omega t$$

En todo sistema no amortiguado y forzado armónicamente, el movimiento resultante se compone de la suma de dos armónicos, uno de frecuencia natural ω_n y otro de frecuencia de la fuerza exterior ω .

BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES

ANTERIOR

PARA CONTINUAR

MENÚ PRINCIPAL

- INTRODUCCIÓN
- **CLASIFICACIÓN**
- DEFECTO Y VIBRACIÓN
- MANTENIMIENTO

VIBRACIONES . EFECTOS Y USOS

CLASIFICACIÓN DE LAS VIBRACIONES MECÁNICAS

¿Cómo podemos clasificar las vibraciones?

VIBRACIONES FORZADAS SIN AMORTIGUAMIENTO.

La amplitud del primero depende de las condiciones iniciales y se anula para unos valores particulares, la amplitud del segundo depende de la proximidad de ambas frecuencias a través de la expresión denominada **factor de resonancia**:

$$\rho = \frac{1}{1 - \frac{\omega^2}{\omega_n^2}} = \frac{A}{x_{est}}$$

BATIMIENTO. Fenómeno producido cuando la frecuencia natural del sistema (ω_n) toma un valor muy próximo a la frecuencia de la fuerza exterior (ω), es decir, en el caso particular en que $\omega_n = \omega + \Delta\omega$. Para perturbación inicial nula ($x_0 = x'_0 = 0$) se obtiene,

$$x = \frac{F_0 \omega_n}{k \Delta \omega} \sin \frac{\Delta \omega}{2} t \sin \omega_n t$$


Se trata de un movimiento armónico de frecuencia ω_n y de amplitud también armónica, ésta crece hasta un máximo y disminuye hasta que se anula, repitiendo este ciclo de forma periódica.

BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES

ANTERIOR

PARA CONTINUAR





MENÚ PRINCIPAL

- INTRODUCCIÓN
- **CLASIFICACIÓN**
- DEFECTO Y VIBRACIÓN
- MANTENIMIENTO

VIBRACIONES . EFECTOS Y USOS

CLASIFICACIÓN DE LAS VIBRACIONES MECÁNICAS

¿Cómo podemos clasificar las vibraciones?

VIBRACIONES FORZADAS SIN AMORTIGUAMIENTO.

RESONANCIA. Una característica muy significativa del movimiento oscilatorio tiene lugar cuando la fuerza excitadora de las vibraciones tiene unas frecuencias particulares, para cada sistema dado, produciéndose cambios de configuración de los sistemas mecánicos que alcanzan amplitudes notables, y generalmente, ocasionan un fallo estructural del material sometido a esfuerzos de rotura: efectos resonantes. Este riesgo se produce incluso con fuerzas excitadoras muy pequeñas ya que depende de las características del material sometido a vibración. Cuando la frecuencia de la fuerza exterior es igual a la frecuencia natural del sistema ($\omega = \omega_n$), es decir, cuando $\Delta\omega \rightarrow 0$, se produce la resonancia, la ecuación que rige dicho fenómeno es,


$$x = \frac{F_0 \omega}{2k} t \sin \omega_n t$$

Expresión que corresponde a un movimiento armónico de frecuencia ω_n y cuya amplitud tiende a infinito cuando $t \rightarrow \infty$.

BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES

ANTERIOR

PARA CONTINUAR



MENÚ PRINCIPAL

- INTRODUCCIÓN
- **CLASIFICACIÓN**
- DEFECTO Y VIBRACIÓN
- MANTENIMIENTO

VIBRACIONES . EFECTOS Y USOS

CLASIFICACIÓN DE LAS VIBRACIONES MECÁNICAS

¿Cómo podemos clasificar las vibraciones?

VIBRACIONES FORZADAS CON AMORTIGUAMIENTO.

La ecuación diferencial del movimiento, teniendo en cuenta que la fuerza es de tipo periódico, $F = F_0 \sin \omega t$ es de la forma $m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = F$

La ecuación característica correspondiente a la ecuación diferencial homogénea es $m r^2 + cr + k = 0$. Se supone amortiguamiento inferior al crítico para que resulte una vibración, la solución general se obtiene añadiendo a la solución de la ecuación diferencial de la homogénea una solución particular de la completa ($x = x_h + x_p$), resultando

$$x = a e^{-\frac{c}{2m}t} \sin(\omega_n t + \phi) + A \sin(\omega t - \Theta)$$

esta solución consta de dos partes, una solución transitoria, en la que el primer término (x_h) al cabo de un tiempo generalmente breve, se reduce a un valor despreciable, y la solución estacionaria (x_p) en la que el sistema oscila con frecuencia ω amplitud A constante y desfase Θ cuyas expresiones son las que se muestran en el lateral.

$$\tan \Theta = \frac{c \omega}{k - m \omega^2}$$

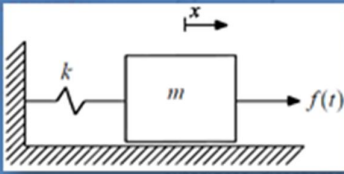
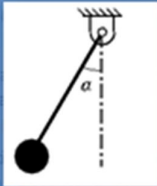
$$A = \frac{F_0 / m \omega_n^2}{\sqrt{\left[1 - \left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2\right]^2 + \left(\frac{2}{c} \frac{c}{\omega_n}\right)^2}}$$

BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES

ANTERIOR

Sistemas de 1 Grado de Libertad

CLASIFICACIÓN DE LAS VIBRACIONES MECÁNICAS

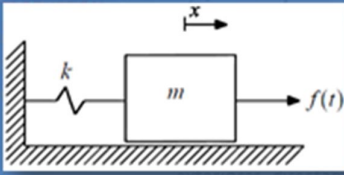
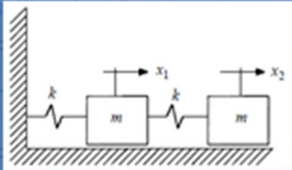
Grado de libertad (GDL): Son los parámetros necesarios para definir de forma unívoca la configuración de un sistema, en este caso una sistema vibratorio. Por ejemplo la masa unida al resorte y el péndulo de las figuras son ejemplos de un sistema vibratorio y oscilatorio respectivamente pero ambos de 1 grado de libertad, ya que para definir el estado del sistema tal solo habrá que conocer la coordenada

BANCO DE ENSAYOS DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES

ATRÁS
SIGUIENTE

Sistemas de 1 Grado de Libertad

CLASIFICACIÓN DE LAS VIBRACIONES MECÁNICAS

Utilidad de los sistemas de grado de libertad: Son, por una parte, sencillos y por otra, se dan en la práctica en sistemas que son directamente asimilables a sistemas vibratorios de 1 GDL. Además otra propiedad importante es que los sistemas de N GDL se pueden estudiar como N sistemas de 1 GDL. El sistema de la imagen derecha es un sistema de 2 GDL, que podremos reducir a 2 sistemas de 1GDL relacionando parámetros de uno con el estado del otro.

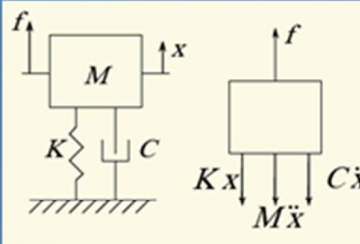
BANCO DE ENSAYOS DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES

ATRÁS
SIGUIENTE

Sistemas de 1 Grado de Libertad

CLASIFICACIÓN DE LAS VIBRACIONES MECÁNICAS

¿Cómo podemos clasificar las vibraciones?



$M\ddot{x} + C\dot{x} + Kx = f$

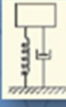
Equilibrio dinámico

$M\ddot{x} + C\dot{x} + Kx = f$

- Cuando $C=0$ y la fuerza es armónica:
 $f = F \cos \omega t$
- Resulta una solución:
 $(-\omega^2 M + K)x = f$

$$x = \frac{F}{-\omega^2 M + K}$$

x desplazamiento
 f fuerza
 M masa
 K cte. de rigidez
 C cte. de amortiguamiento



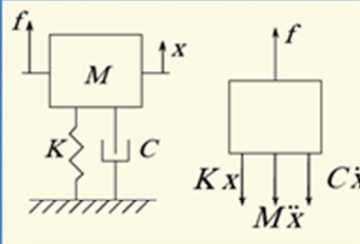
ANÁLISIS DE VIBRACIONES

ATRÁS SIGUIENTE

Sistemas de 1 Grado de Libertad

CLASIFICACIÓN DE LAS VIBRACIONES MECÁNICAS

¿Cómo podemos clasificar las vibraciones?



$M\ddot{x} + C\dot{x} + Kx = f$

En la ecuación anterior:

$$x = \frac{F}{-\omega^2 M + K} \quad \text{si} \quad \omega = \sqrt{\frac{K}{M}} \rightarrow x \rightarrow \infty$$

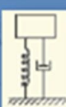
- El parámetro ω particular es la frecuencia natural del sistema o frecuencia de resonancia.
- Si existe amortiguamiento y el sistema está excitado por una fuerza excitadora:

$f = F \cos \omega_0 t$

- La función de transferencia del sistema será igual a:

$$H(\lambda) = \frac{1}{\sqrt{(1 - \lambda^2)^2 + (2\zeta\lambda)^2}}$$

x desplazamiento
 f fuerza
 M masa
 K cte. de rigidez
 C cte. de amortiguamiento



ANÁLISIS DE VIBRACIONES

ATRÁS SIGUIENTE

Sistemas de 1 Grado de Libertad

CLASIFICACIÓN DE LAS VIBRACIONES MECÁNICAS

¿cómo podemos clasificar las vibraciones?

Podemos como modelo mecánico un sistema de 1 grado de libertad. Una variable para comenzar a estudiar las vibraciones de una forma bastante clara. La excitación del sistema. De esta forma podemos clasificar las vibraciones.

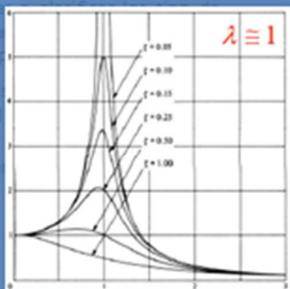
Amortiguamiento relativo:

$$\zeta = \frac{C}{2\sqrt{KM}}$$

• La relación entre la frecuencia natural del sistema y la frecuencia de la fuerza excitadora será:

$$\lambda = \frac{\omega}{\omega_0}$$

• El denominador de la función de transferencia es conocido como FACTOR DE AMPLIFICACIÓN DINÁMICA:

$$D = \frac{1}{\sqrt{(1-\lambda^2)^2 + (2\zeta\lambda)^2}}$$


$\lambda \approx 1$

BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES

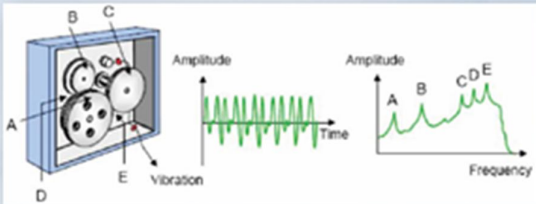
[ATRÁS](#)
[VOLVER](#)

VIBRACIONES . EFECTOS Y USOS

RELACIÓN VIBRACIÓN DEFECTO

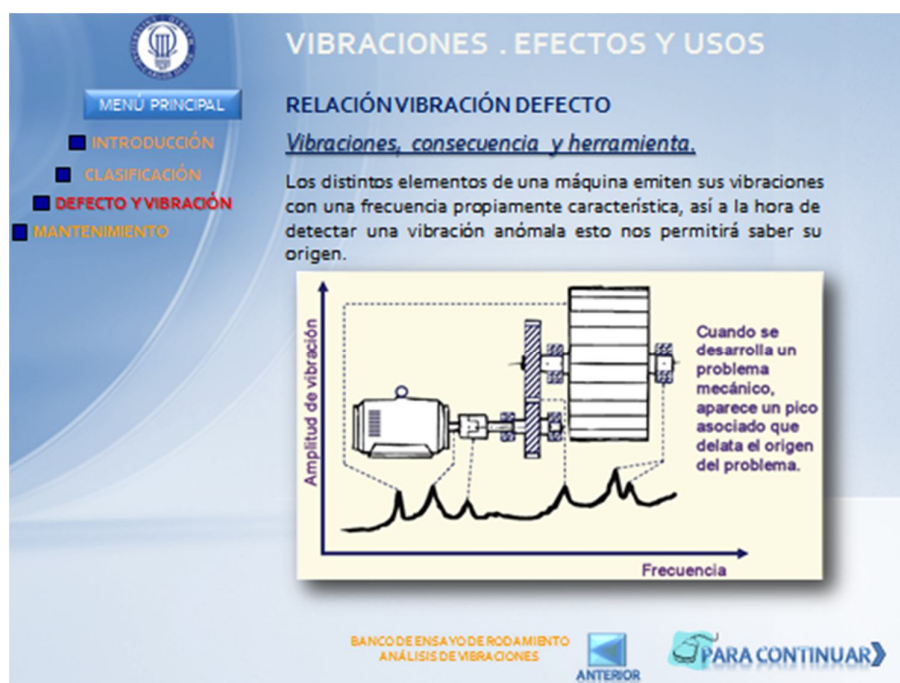
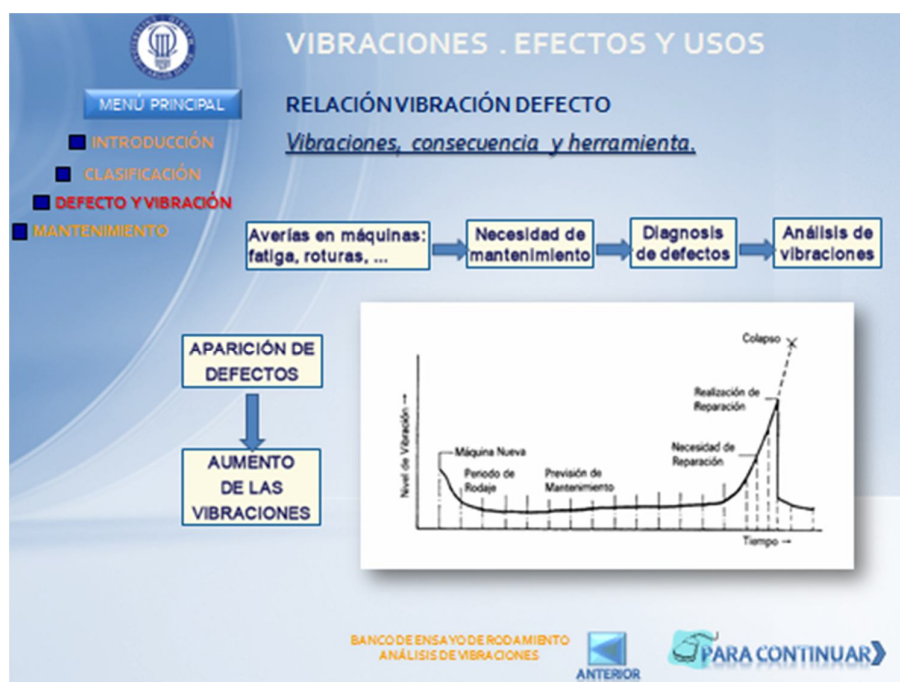
Vibraciones, consecuencia y herramienta.

Como podremos ver en la sección mantenimiento presente en el MNL de este documento, las vibraciones al igual que otros parámetros constituyen, por un lado, un síntoma de mal funcionamiento y un riesgo para la integridad estructural de los componentes de la máquina si estas aumentan por encima de determinados umbrales, pero por otro son empleadas para la detección precoz de futuros fallos en máquinas.



BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES

PARA CONTINUAR



MENÚ PRINCIPAL

- INTRODUCCIÓN
- CLASIFICACIÓN
- **DEFECTO Y VIBRACIÓN**
- MANTENIMIENTO

VIBRACIONES . EFECTOS Y USOS

RELACIÓN VIBRACIÓN DEFECTO

Vibraciones, consecuencia y herramienta.

Existe una relación clara entre cada defecto y el pico de frecuencia detectado en el dominio de frecuencia.

BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES

[ANTERIOR](#)
[PARA CONTINUAR](#)

MENÚ PRINCIPAL

- INTRODUCCIÓN
- CLASIFICACIÓN
- **DEFECTO Y VIBRACIÓN**
- MANTENIMIENTO

VIBRACIONES . EFECTOS Y USOS

RELACIÓN VIBRACIÓN DEFECTO

¿Por qué el dominio de frecuencia?

El uso del análisis del dominio de frecuencia es, en muchas áreas de aplicación, predominante mientras que el uso racional suele ignorarse. Esto es debido a estas posibles razones principales:

1. La comprensión física es fácil de obtener en el dominio de frecuencia, en oposición al dominio original de tiempo que describe señales y sistemas.
2. Es posible investigar de manera independiente la contribución de las regiones de frecuencia del total de la energía.
3. Los patrones de señales para el diagnóstico se puede reconocer más fácilmente. Pequeños cambios que apenas afectan al compás del tiempo, suelen ser detectados más fácilmente en representaciones del dominio de frecuencia.
4. Los sistemas suelen modelarse como tramos de sistemas lineales, que aplicando transformadas de Fourier se obtienen formas cercanas a la solución y los dominios de frecuencia. Por lo que es más sencillo la comparación con los modelos teóricos.
5. La disponibilidad de la transformada rápida de Fourier, es el algoritmo esencial para el procesamiento de señales.

BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES

[ANTERIOR](#)
[PARA CONTINUAR](#)



MENÚ PRINCIPAL

- INTRODUCCIÓN
- CLASIFICACIÓN
- **DEFECTO Y VIBRACIÓN**
- MANTENIMIENTO

VIBRACIONES . EFECTOS Y USOS

RELACIÓN VIBRACIÓN DEFECTO

Proceso de diagnóstico de defectos.

El proceso sigue unos pasos determinados que veremos más adelante y requiere de una serie de equipos para su medición, registro y procesado.



ACELERÓMETRO



TARJETA ADQUISICIÓN DE DATOS



AMPLIFICADOR



ORDENADOR + SOFTWARE PROCESADO

Todos estos componentes se conectan entre si a través de un bus de datos.

BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES

ANTERIOR

PARA CONTINUAR



MENÚ PRINCIPAL

- INTRODUCCIÓN
- CLASIFICACIÓN
- **DEFECTO Y VIBRACIÓN**
- MANTENIMIENTO

VIBRACIONES . EFECTOS Y USOS

RELACIÓN VIBRACIÓN DEFECTO

Proceso de diagnóstico de defectos.

El proceso sigue unos pasos determinados que veremos más adelante y requiere de una serie de equipos para su medición, registro y procesado.



COMPUTADOR BANCO DE ENSAYOS

Todos estos componentes se conectan entre si a través de un bus de datos.

BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES

ANTERIOR

PARA CONTINUAR

MENÚ PRINCIPAL

- INTRODUCCIÓN
- CLASIFICACIÓN
- **DEFECTO Y VIBRACIÓN**
- MANTENIMIENTO

VIBRACIONES . EFECTOS Y USOS

RELACIÓN VIBRACIÓN DEFECTO

Proceso de diagnóstico de defectos.

El esquema anterior es válido para montajes en banco de ensayos pero no es aplicable de forma directa a ambientes industriales y al día a día del mantenimiento de máquinas. Sin embargo existen aplicaciones comerciales adaptadas a este tipo de uso intensivo y rápido, este tipo de técnica se denomina *análisis de vibraciones "in situ"*.




BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES

PARA CONTINUAR >

MENÚ PRINCIPAL

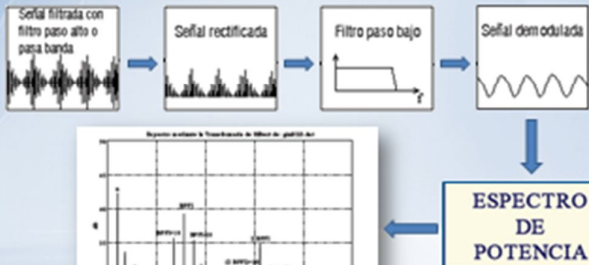
- INTRODUCCIÓN
- CLASIFICACIÓN
- **DEFECTO Y VIBRACIÓN**
- MANTENIMIENTO

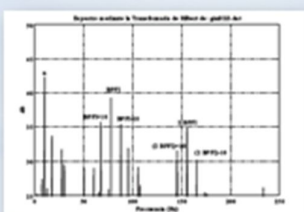
VIBRACIONES . EFECTOS Y USOS

RELACIÓN VIBRACIÓN DEFECTO

Técnicas de análisis. Espectro de la envolvente.

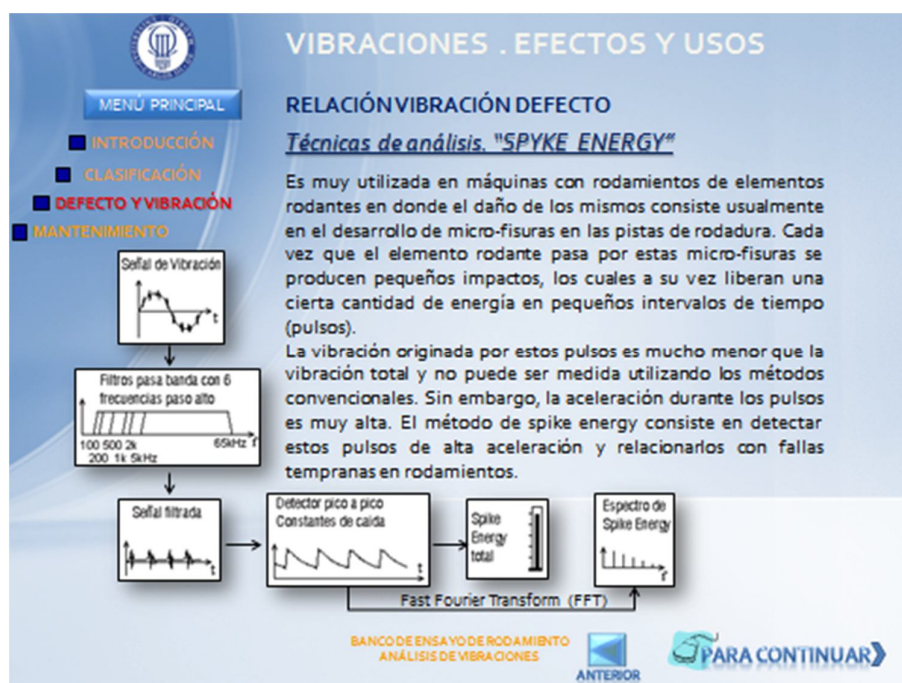
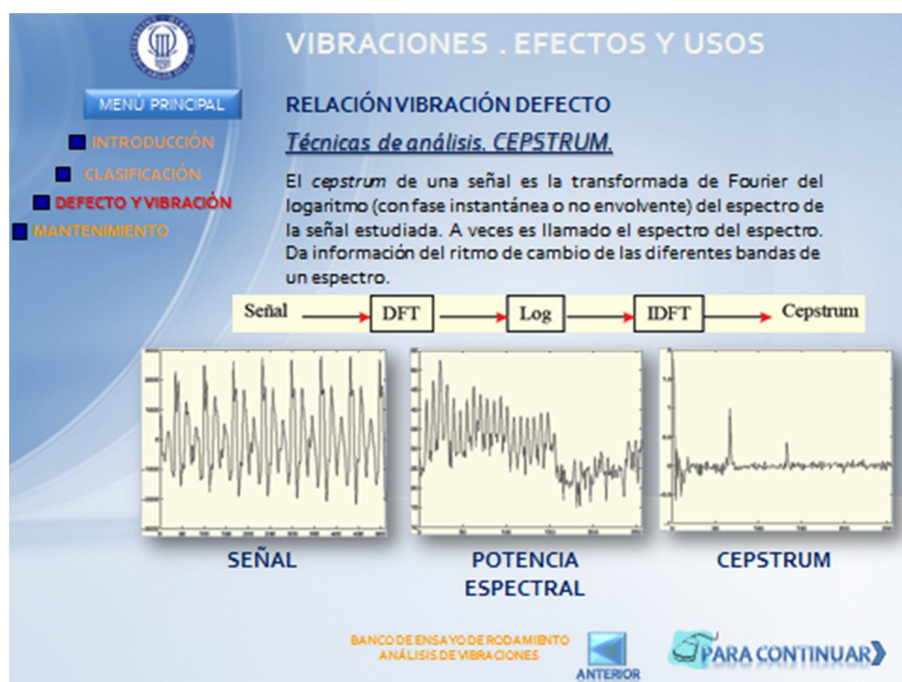
El análisis del espectro de la envolvente se ha convertido en una de las técnicas más utilizadas para detectar anomalías en los rodamientos. La técnica utilizada tiene los siguientes pasos.





BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES

PARA CONTINUAR >



MENÚ PRINCIPAL

- INTRODUCCIÓN
- CLASIFICACIÓN
- **DEFECTO Y VIBRACIÓN**
- MANTENIMIENTO

VIBRACIONES . EFECTOS Y USOS

RELACIÓN VIBRACIÓN DEFECTO

Técnicas de análisis. Espectro de potencia

Se trata de una representación frecuencial de la densidad de potencia espectral (PSD).

$$S(f) = \frac{\Delta T}{N} \cdot |X(k)|^2 = \frac{\Delta T}{N} \cdot X(k) \cdot X^*(k)$$

$$X(k) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} x(n) \cdot e^{-j 2\pi \cdot k \cdot \frac{n}{N}}$$

BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES

ANTERIOR [PARA CONTINUAR](#)

MENÚ PRINCIPAL

- INTRODUCCIÓN
- CLASIFICACIÓN
- **DEFECTO Y VIBRACIÓN**
- MANTENIMIENTO

VIBRACIONES . EFECTOS Y USOS

RELACIÓN VIBRACIÓN DEFECTO

Técnicas de análisis. Diagrama tiempo-frecuencia

COEFICIENTES CWT

CWT

"Continuous Wavelet Transform"

$$CWT(a, \tau) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int s(t) \cdot \psi\left(\frac{t-\tau}{a}\right) \cdot dt$$

$\Psi \rightarrow$ Señal wavelet madre

Curvas wavelet de la familia Daubechies

BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES

ANTERIOR [PARA CONTINUAR](#)



MENÚ PRINCIPAL

- INTRODUCCIÓN
- CLASIFICACIÓN
- **DEFECTO Y VIBRACIÓN**
- MANTENIMIENTO

VIBRACIONES . EFECTOS Y USOS

RELACIÓN VIBRACIÓN DEFECTO

Técnicas de análisis. Diagrama tiempo-frecuencia

$$\bar{x}(i\Delta t) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} x(i\Delta t + nT) \quad i = 1, \dots, T/\Delta t$$

T - repetitive cycle
 Δt - sampling interval, $f_{\text{sampling}} = \frac{1}{\Delta t}$
 N - number of repetitive segments

SÍNCRONO

ASÍNCRONO

SÍNCRONO

BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES

ANTERIOR

PARA CONTINUAR

MENÚ PRINCIPAL

- INTRODUCCIÓN
- CLASIFICACIÓN
- **DEFECTO Y VIBRACIÓN**
- MANTENIMIENTO

VIBRACIONES . EFECTOS Y USOS

RELACIÓN VIBRACIÓN DEFECTO

Componentes y frecuencias de deterioro.

El deterioro de cada uno de los elementos que forman un rodamiento, generará una o varias frecuencias características en los espectros de frecuencia que nos permitirán una rápida y fácil identificación. Las cuatro posibles frecuencias de deterioro de un rodamiento son:

- **BPFO** o frecuencia de deterioro de la pista exterior. Físicamente es el número de bolas o rodillos que pasan por un punto de la pista exterior cada vez que el eje realiza un giro completo.
- **BPFI** o frecuencia de deterioro de la pista interior. Físicamente es el número de bolas o rodillos que pasan por un punto de la pista interior cada vez que el eje realiza un giro completo.
- **BSF** o frecuencia de deterioro de los elementos rodantes. Físicamente es el número de giros que realiza una bola del rodamiento cada vez que el eje realiza un giro completo.
- **FTF** o frecuencia fundamental de tren o de deterioro de la jaula. Físicamente es el número de giros que realiza la jaula del rodamiento cada vez que el eje realiza un giro completo.

$P_o = \frac{D_1 + D_2}{2}$
 N_b = Número de bolas
 β = Ángulo de contacto
 $BPFO = RPM \cdot \frac{N_b}{2} \left(1 - \frac{B_o}{P_o} \cos(\beta) \right)$
 $BPFI = RPM \cdot \frac{N_b}{2} \left(1 + \frac{B_o}{P_o} \cos(\beta) \right)$
 $BSF = RPM \cdot \frac{P_o}{B_o} \left(1 - \frac{B_o}{P_o} \cos(\beta) \right)$
 $FTF = RPM \cdot \frac{1}{2} \left(1 - \frac{B_o}{P_o} \cos(\beta) \right)$

BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES

ANTERIOR

PARA CONTINUAR

MENÚ PRINCIPAL
■ INTRODUCCIÓN
■ CLASIFICACIÓN
■ **DEFECTO Y VIBRACIÓN**
■ MANTENIMIENTO

VIBRACIONES . EFECTOS Y USOS

RELACIÓN VIBRACIÓN DEFECTO

Vibraciones por defectos en rodamientos.

Defectos en la pista exterior. Los espectros se caracterizan por presentar picos armónicos de la frecuencia de deterioro de la pista exterior (entre 8 y 10 armónicos de la BPFO).



BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES

ANTERIOR

PARA CONTINUAR

MENÚ PRINCIPAL
■ INTRODUCCIÓN
■ CLASIFICACIÓN
■ **DEFECTO Y VIBRACIÓN**
■ MANTENIMIENTO

VIBRACIONES . EFECTOS Y USOS

RELACIÓN VIBRACIÓN DEFECTO

Vibraciones por defectos en rodamientos.

Defectos en la pista interior. Los espectros presentan varios picos armónicos de la frecuencia de deterioro de la pista interior (normalmente entre 8 y 10 armónicos de la BPFI) modulados por bandas laterales a $\pm 1x$ RPM.



BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES

ANTERIOR

PARA CONTINUAR



MENÚ PRINCIPAL

- INTRODUCCIÓN
- CLASIFICACIÓN
- **DEFECTO Y VIBRACIÓN**
- MANTENIMIENTO

VIBRACIONES . EFECTOS Y USOS

RELACIÓN VIBRACIÓN DEFECTO

Vibraciones por defectos en rodamientos.

Defectos en bolas o rodillos. Se caracterizan por presentar en los espectros las frecuencias de deterioro de los elementos rodantes (BSF). En la mayoría de las ocasiones, el armónico de mayor amplitud nos suele indicar el número de bolas o rodillos deteriorados. Normalmente van acompañadas por defectos en pista.




BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES

ANTERIOR

PARA CONTINUAR



MENÚ PRINCIPAL

- INTRODUCCIÓN
- CLASIFICACIÓN
- **DEFECTO Y VIBRACIÓN**
- MANTENIMIENTO

VIBRACIONES . EFECTOS Y USOS

RELACIÓN VIBRACIÓN DEFECTO

Vibraciones por defectos en rodamientos.

Deterioro de jaula. Generalmente un defecto en jaula va acompañado por defectos en pistas y las FTF suelen modular a estas frecuencias de deterioro de pista como sumas y/o diferencias de frecuencias.




BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES

ANTERIOR

PARA CONTINUAR

MENÚ PRINCIPAL

- INTRODUCCIÓN
- CLASIFICACIÓN
- DEFECTO Y VIBRACIÓN
- MANTENIMIENTO

VIBRACIONES . EFECTOS Y USOS

RELACIÓN VIBRACIÓN DEFECTO

Vibraciones por defectos en rodamientos.

Holguras. Dependiendo del tipo:

- **Excesiva holgura interna en el rodamiento.** Suelen presentar una firma espectral caracterizada por la presencia de vibración síncrona (armónicos de la velocidad de giro), vibración subsíncrona (0,5x RPM) y no síncrona (1,5x RPM, 2,5x RPM, 3,5x RPM, etc.). A veces pueden ir moduladas por la FTF.
- **Holguras entre rodamiento y eje.** Aparecen varios armónicos de la frecuencia de giro y normalmente el múltiplo dominante es el 3x RPM.
- **Holguras entre rodamiento y caja.** Presenta varios armónicos a la frecuencia de giro, destacando por su mayor amplitud los picos a 1x y 4x RPM.

BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTOS
ANÁLISIS DE VIBRACIONES

ANTERIOR

PARA CONTINUAR

MENÚ PRINCIPAL

- INTRODUCCIÓN
- CLASIFICACIÓN
- DEFECTO Y VIBRACIÓN
- MANTENIMIENTO

VIBRACIONES . EFECTOS Y USOS

RELACIÓN VIBRACIÓN DEFECTO

Vibraciones por defectos en rodamientos.

Rodamientos desalineados. Como ya se ha comentado en el capítulo de desalineación, las firmas espectrales se caracterizan por la presencia de vibración a varios armónicos de la frecuencia de giro, destacando por su mayor amplitud el pico a NB-RPM, siendo NB el número de elementos rodantes del rodamiento.

BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTOS
ANÁLISIS DE VIBRACIONES

ANTERIOR

PARA CONTINUAR



MENÚ PRINCIPAL

- INTRODUCCIÓN
- CLASIFICACIÓN
- **DEFECTO Y VIBRACIÓN**
- MANTENIMIENTO

VIBRACIONES . EFECTOS Y USOS

RELACIÓN VIBRACIÓN DEFECTO

Vibraciones por defectos en rodamientos.

Inadecuada lubricación. Los problemas de lubricación se caracterizan por presentar vibración a alta frecuencia (entre 50.000 y 100.000 CPM) presentando bandas de picos distanciadas entre sí un rango de frecuencia variable entre 48.000 y 7.800 CPM, debidas a la excitación de las frecuencias de resonancia de los rodamientos que se encuentran en estas zonas de frecuencia.



BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES

ANTERIOR

PARA CONTINUAR >



MENÚ PRINCIPAL

- INTRODUCCIÓN
- CLASIFICACIÓN
- **DEFECTO Y VIBRACIÓN**
- MANTENIMIENTO

VIBRACIONES . EFECTOS Y USOS

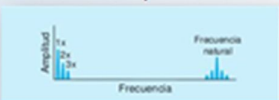
RELACIÓN VIBRACIÓN DEFECTO

Fases De deterioro en rodamientos.

Fase 1: En esta fase, el rodamiento se encuentra en perfecto estado con lo cual en el espectro sólo se aprecian la frecuencia de giro y posiblemente algunos de sus armónicos.



Fase 2: Aparecen lecturas de vibración a alta frecuencia, las cuales constituyen el primer indicador del inicio del deterioro de un rodamiento. Dichas lecturas se deben a impactos, provocados por un pequeño defecto, que suelen excitar las frecuencias naturales de las pistas de rodadura a alta frecuencia. Estas medidas se realizan en el espectro de aceleración en una banda comprendida entre 1 kHz y 20 kHz.



BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES

ANTERIOR

PARA CONTINUAR >

MENÚ PRINCIPAL

- INTRODUCCIÓN
- CLASIFICACIÓN
- **DEFECTO Y VIBRACIÓN**
- MANTENIMIENTO

VIBRACIONES . EFECTOS Y USOS

RELACIÓN VIBRACIÓN DEFECTO

Fases De deterioro en rodamientos.

Fase 3: Aparecen las frecuencias características de defectos y sus armónicos. A medida que el daño progresa se incrementa la magnitud de los armónicos de las frecuencias de fallo y aumenta la aceleración a alta frecuencia. El seguimiento de su evolución nos permite planificar su cambio con la suficiente antelación.

Fase 4: Esta es la fase final del rodamiento. Cuando este se encuentra muy dañado aparecen síntomas similares a holguras y roces. Aparece además, ruido de fondo detectable en aceleración a alta frecuencia. Aumenta la amplitud de 1x RPM y sus armónicos y disminuyen o desaparecen las frecuencias de fallo enmascaradas en el ruido de fondo.

BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTOS
ANÁLISIS DE VIBRACIONES

MENÚ PRINCIPAL

- INTRODUCCIÓN
- CLASIFICACIÓN
- **DEFECTO Y VIBRACIÓN**
- MANTENIMIENTO

VIBRACIONES . EFECTOS Y USOS

RELACIÓN VIBRACIÓN DEFECTO

Bandas de frecuencia

La descomposición del valor global del espectro en bandas de frecuencia nos permite conocer de antemano las zonas en las que se suelen manifestar los problemas más típicos y nos ayudan a su identificación, incluso antes de llegar a visualizar el espectro en frecuencias y la onda en el tiempo. Para máquinas normales en las que se pretende controlar problemas a bajas y medias frecuencias (desequilibrios, desalineaciones, holguras, etc.) y a altas frecuencias (rodamientos) recomendamos utilizar las bandas de frecuencia indicadas en la tabla siguiente.

Parámetro espectral	A. Banda
Desequilibrio, desalineación, holguras, rozamientos y desgaste de correas.	0,3 a 1,5x RPM
Desalineación y holguras	1,5 a 2,5x RPM
Holguras, desalineación y BSF.	2,5x a 4,5x RPM

BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTOS
ANÁLISIS DE VIBRACIONES



MENÚ PRINCIPAL

- INTRODUCCIÓN
- CLASIFICACIÓN
- **DEFECTO Y VIBRACIÓN**
- MANTENIMIENTO

VIBRACIONES . EFECTOS Y USOS

RELACIÓN VIBRACIÓN DEFECTO

Bandas de frecuencia

La descomposición del valor global del espectro en bandas de frecuencia nos permite conocer de antemano las zonas en las que se suelen manifestar los problemas más típicos y nos ayudan a su identificación, incluso antes de llegar a visualizar el espectro en frecuencias y la onda en el tiempo. Para máquinas normales en las que se pretende controlar problemas a bajas y medias frecuencias (desequilibrios, desalineaciones, holguras, etc.) y a altas frecuencias (rodamientos) recomendamos utilizar las bandas de frecuencia indicadas en la tabla siguiente.

Parámetro espectral	A. Banda
Primeros armónicos de las frecuencias de rodamientos, BPFO, BPFI y BSF.	4,5 kHz a 20,5 kHz
Armónicos superiores de las frecuencias de rodamientos y presencias de frecuencias eléctricas.	20,5 kHz a 50 kHz
Banda espectral de alta frecuencia, en unidades de aceleración (G's). Parámetro de alarma sobre estados incipientes de deterioro en rodamientos, presencia de cavitación o falta de lubricación.	1 kHz a 20 kHz

BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES

ANTERIOR

PARA CONTINUAR



MENÚ PRINCIPAL

- INTRODUCCIÓN
- CLASIFICACIÓN
- DEFECTO Y VIBRACIÓN
- **MANTENIMIENTO**

VIBRACIONES . EFECTOS Y USOS

EL MANTENIMIENTO DE SISTEMAS MECÁNICOS

Concepto de mantenimiento.

La meta más importante de cualquier programa de mantenimiento es la eliminación de algún defecto de la maquinaria.

Muchas veces una avería grave causará daños serios periféricos a la máquina, incrementando los costos de reparación. Se intentará reducir al máximo las averías del sistema con una atención sistemática en el mantenimiento.

El segundo propósito del mantenimiento es de poder anticipar y planificar con precisión sus requerimientos. Eso quiere decir que se pueden reducir los inventarios de refacciones y que se puede eliminar la parte principal del trabajo en tiempo extra.



BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES

PARA CONTINUAR

MENÚ PRINCIPAL

- INTRODUCCIÓN
- CLASIFICACIÓN
- DEFECTO Y VIBRACIÓN
- **MANTENIMIENTO**

VIBRACIONES . EFECTOS Y USOS

EL MANTENIMIENTO DE SISTEMAS MECÁNICOS

Concepto de mantenimiento.

El tercer propósito es de incrementar la disponibilidad para la producción de la planta, por medio de la reducción importante de la posibilidad de algún paro durante el funcionamiento de la planta, y de mantener la capacidad operacional del sistema

Costes de reparación

- Problemas derivados de la reparación
- Costes de paradas no planificadas
- Cientes perdidos o descuentos
- Paradas catastróficas
- Entregas con retraso
- Horas extras

BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES

ANTERIOR

PARA CONTINUAR

MENÚ PRINCIPAL

- INTRODUCCIÓN
- CLASIFICACIÓN
- DEFECTO Y VIBRACIÓN
- **MANTENIMIENTO**

VIBRACIONES . EFECTOS Y USOS

EL MANTENIMIENTO DE SISTEMAS MECÁNICOS

Tipos de mantenimiento.

Hay diferentes tipos de mantenimiento en función de multitud de parámetros tales como: su frecuencia, técnicas, profundidad, etc. De esta forma tenemos:

MANTENIMIENTO EN SISTEMAS MECÁNICOS

→

- CORRECTIVO
- PREVENTIVO
- EN USO
- OVERHAUL
- PREDICTIVO
- PROACTIVO

BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES

ANTERIOR

PARA CONTINUAR



MENÚ PRINCIPAL

- INTRODUCCIÓN
- CLASIFICACIÓN
- DEFECTO Y VIBRACIÓN
- **MANTENIMIENTO**

VIBRACIONES . EFECTOS Y USOS

EL MANTENIMIENTO DE SISTEMAS MECÁNICOS

Tipos de mantenimiento.

Mantenimiento correctivo: En un principio, el mantenimiento quedaba relegado a intervenciones como consecuencia de las averías y con los consiguientes costes de reparación (mano de obra, piezas de repuesto,...), así como los relativos a los costes por las paradas de producción. Este tipo de mantenimiento se conoce como mantenimiento correctivo.

Mantenimiento preventivo: Las necesidades de mejora de los costes derivados de las bajas disponibilidades de la máquina y de las paradas de producción llevaron a los técnicos de mantenimiento a programar revisiones periódicas, para mantener las máquinas en el mejor estado posible y reducir su probabilidad de fallo. Pero esto supone un coste. ¿Hasta qué punto los períodos establecidos para las intervenciones de mantenimiento están sobredimensionadas? ¿Se pueden reducir los períodos de intervención sin consecuencias nefastas para las máquinas, abaratando de esta manera el coste del mantenimiento? Todas estas preguntas carecen de respuestas precisas y limitan la eficacia del mantenimiento.




BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES

ANTERIOR

PARA CONTINUAR



MENÚ PRINCIPAL

- INTRODUCCIÓN
- CLASIFICACIÓN
- DEFECTO Y VIBRACIÓN
- **MANTENIMIENTO**

VIBRACIONES . EFECTOS Y USOS

EL MANTENIMIENTO DE SISTEMAS MECÁNICOS

Tipos de mantenimiento.

Mantenimiento En Uso: es el mantenimiento básico de un equipo realizado por los usuarios del mismo. Consiste en una serie de tareas elementales (tomas de datos, inspecciones visuales, limpieza, lubricación, reapriete de tornillos) para las que no es necesario una gran formación, sino tal solo un entrenamiento breve. Este tipo de mantenimiento es la base del TPM (Total Productive Maintenance, Mantenimiento Productivo Total).

Mantenimiento Cero Horas (Overhaul): Es el conjunto de tareas cuyo objetivo es revisar los equipos a intervalos programados bien antes de que aparezca ningún fallo, bien cuando la fiabilidad del equipo ha disminuido apreciablemente de manera que resulta arriesgado hacer previsiones sobre su capacidad productiva. Dicha revisión consiste en dejar el equipo a Cero horas de funcionamiento, es decir, como si el equipo fuera nuevo. En estas revisiones se sustituyen o se reparan todos los elementos sometidos a desgaste. Se pretende asegurar, con gran probabilidad un tiempo de buen funcionamiento fijado de antemano.




BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES

ANTERIOR

PARA CONTINUAR

MENÚ PRINCIPAL

- INTRODUCCIÓN
- CLASIFICACIÓN
- DEFECTO Y VIBRACIÓN
- **MANTENIMIENTO**

VIBRACIONES . EFECTOS Y USOS

EL MANTENIMIENTO DE SISTEMAS MECÁNICOS

Tipos de mantenimiento.

Mantenimiento predictivo: Como consecuencia de las incertidumbres que presenta el mantenimiento preventivo y con el apoyo del desarrollo tecnológico, se desarrolló un nuevo concepto de mantenimiento basado en la condición o estado de la máquina. Este tipo de intervención se conoce como mantenimiento predictivo, y viene a suponer toda una revolución dada su filosofía de anticipación a la avería por medio del conocimiento del comportamiento de la máquina y de cómo debería comportarse, conociendo de este modo previamente qué elemento puede fallar y cuándo. Así se puede programar una intervención sin afectar al proceso productivo, con las consiguientes optimizaciones en costes de producción, mano de obra y repuestos. Se evitan de este modo grandes y costosas averías agilizando las intervenciones.

BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES

ANTERIOR

PARA CONTINUAR

MENÚ PRINCIPAL

- INTRODUCCIÓN
- CLASIFICACIÓN
- DEFECTO Y VIBRACIÓN
- **MANTENIMIENTO**

VIBRACIONES . EFECTOS Y USOS

EL MANTENIMIENTO DE SISTEMAS MECÁNICOS

Tipos de mantenimiento.

Mantenimiento proactivo: Se ha desarrollado como complemento a la evolución del mantenimiento predictivo. Este concepto engloba los tipos de mantenimiento detallados anteriormente elevándolos a otra dimensión; el análisis de causas. El mantenimiento predictivo puede determinar si algún elemento de la máquina puede fallar, pero no estudia la causa raíz del fallo. El mantenimiento predictivo no responde a la causa por la cual un rodamiento falla repetidamente aunque si nos indique cuando puede fallar. Para cubrir esta incertidumbre, el mantenimiento proactivo o también conocido como fiabilidad de máquina analiza la causa raíz de la repetibilidad de la avería, resolviendo aspectos técnicos de las mismas.

BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES

ANTERIOR

PARA CONTINUAR

MENÚ PRINCIPAL

- INTRODUCCIÓN
- CLASIFICACIÓN
- DEFECTO Y VIBRACIÓN
- MANTENIMIENTO

VIBRACIONES . EFECTOS Y USOS

EL MANTENIMIENTO DE SISTEMAS MECÁNICOS

Mantenimiento Predictivo

Las actuaciones con mantenimiento predictivo pasan por unos inconvenientes iniciales de elevados costes de inversión en tecnología y formación, con una rentabilidad de la misma a medio y largo plazo. Pero las ventajas son evidentes:

En contra...

- Investigaciones iniciales, selección de puntos de medida, establecimiento de límites
- Selección y compra de instrumentos
- Formación

si no
Condition
Monitoring

A favor...

- Periodos mayores entre paradas
- Menor tiempo en reparaciones
- Reducción de piezas en stock
- Menos paradas no planificadas
- Eliminación de daños secundarios
- Reducción en las interrupciones de producción y bonificaciones en seguros

BANCO DE ENSAYO DE RCOAMBIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES

ANTERIOR

PARA CONTINUAR >

MENÚ PRINCIPAL

- INTRODUCCIÓN
- CLASIFICACIÓN
- DEFECTO Y VIBRACIÓN
- MANTENIMIENTO

VIBRACIONES . EFECTOS Y USOS

EL MANTENIMIENTO DE SISTEMAS MECÁNICOS

Mantenimiento Predictivo

Una aplicación más de las técnicas predictivas, no directamente relacionada con el mantenimiento, es su utilidad en la recepción de equipos, como verificación de su correcto funcionamiento o de la bondad de las reparaciones que se les hayan efectuado.

Son muchas y muy variadas las **tecnologías** que se pueden aplicar al campo del mantenimiento bajo condición, siendo el análisis de vibraciones una de las mas importantes y empleadas de estas. Cada de estas tecnologías con un campo de aplicación más o menos concreto, existiendo complementariedad, prácticamente entre todas las existentes.





BANCO DE ENSAYO DE RCOAMBIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES

ANTERIOR

PARA CONTINUAR >

Página | 299

MENÚ PRINCIPAL

- INTRODUCCIÓN
- CLASIFICACIÓN
- DEFECTO Y VIBRACIÓN
- **MANTENIMIENTO**

VIBRACIONES . EFECTOS Y USOS

EL MANTENIMIENTO DE SISTEMAS MECÁNICOS

Mantenimiento Predictivo

Una aplicación más de las técnicas predictivas, no directamente relacionada con el mantenimiento, es su utilidad en la recepción de equipos, como verificación de su correcto funcionamiento o de la bondad de las reparaciones que se les hayan efectuado. Son muchas y muy variadas las tecnologías que se pueden aplicar al campo del mantenimiento bajo condición, siendo el análisis de vibraciones una de las mas importantes y empleadas de estas. Cada de estas tecnologías con un campo de aplicación más o menos concreto, existiendo complementariedad, prácticamente entre todas las existentes.

Tiempo

Banco de Ensayo de Rodamiento
ANÁLISIS DE VIBRACIONES

ANTERIOR PARA CONTINUAR

MENÚ PRINCIPAL

- INTRODUCCIÓN
- CLASIFICACIÓN
- DEFECTO Y VIBRACIÓN
- **MANTENIMIENTO**

VIBRACIONES . EFECTOS Y USOS

EL MANTENIMIENTO DE SISTEMAS MECÁNICOS

Mantenimiento Predictivo

Gracias al estudio de la tendencia vibratoria y en función de los equipos objeto de este mantenimiento predictivo, podremos determinar unos valores que actúen de alerta y alarma, que marcan los puntos en los que han de hacer actuaciones en el equipo antes de producirse el fallo.

Tiempo

Banco de Ensayo de Rodamiento
ANÁLISIS DE VIBRACIONES

ANTERIOR PARA CONTINUAR

MENÚ PRINCIPAL

- INTRODUCCIÓN
- CLASIFICACIÓN
- DEFECTO Y VIBRACIÓN
- **MANTENIMIENTO**

VIBRACIONES . EFECTOS Y USOS

EL MANTENIMIENTO DE SISTEMAS MECÁNICOS

Mantenimiento Predictivo

A través de los límites de vibración admisibles, podremos orientarnos para la configuración inicial de las alarmas. En la tabla siguiente podemos obtener unos datos orientativos.

Grupo K	Grupo M	Grupo G	
No Permisible	No Permisible	No Permisible	<div style="display: flex; align-items: center; justify-content: center;"> <div style="border-left: 1px solid black; border-right: 1px solid black; width: 10px; height: 100px; margin: 0 5px;"></div> <div style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg); font-size: 0.8em;"> 2.5 veces = 8dB 10 veces = 20dB </div> </div>
Tolerable	Tolerable	Tolerable	
Permisible	Permisible	Permisible	
Bien	Bien	Bien	
Máquinas pequeñas < 15 kW	15 kW < Máquinas medianas < 75kW < 300 kW en fundaciones especiales	Máquinas grandes con fundaciones rígidas y pesadas cuya velocidad crítica es mayor que la velocidad de la máquina	

Grupo K
Grupo M
Grupo G

Velocidad mm/s RMS

45
28
18
11.2
7.1
4.5
2.8
1.8
1.12
1.71
0.45
0.28
0.18

BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES

ANTERIOR

PARA CONTINUAR

MENÚ PRINCIPAL

- INTRODUCCIÓN
- CLASIFICACIÓN
- DEFECTO Y VIBRACIÓN
- **MANTENIMIENTO**

VIBRACIONES . EFECTOS Y USOS

EL MANTENIMIENTO DE SISTEMAS MECÁNICOS

Mantenimiento Predictivo

Como podemos ver en la grafica inferior estableceremos unos niveles de alarma acorde con el equipo a estudio, pero hay que recordar que estos valores son iniciales, y que se han de ajustar conforme se vaya conociendo mejor los equipos.

BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES

ANTERIOR

MENU PRINCIPAL
■ INTRODUCCIÓN
■ DESCRIPCIÓN
■ ENSAYOS

EL BANCO DE ENSAYOS

INTRODUCCIÓN AL BANCO DE ENSAYO

¿Qué es y para qué sirve?

Hablando de una forma genérica y sencilla, se trata de un banco de ensayos mecánico, denominado BR-2 que mide las vibraciones producidas durante el funcionamiento de rodamientos.

Su diseño, el cual detallaremos seguidamente a fin de asegurar que se puedan caracterizar el comportamiento vibratorio de diferentes tipos y tamaños de rodamientos, así como los diferentes defectos que pueden presentar.



BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES

PARA CONTINUAR

MENU PRINCIPAL
■ INTRODUCCIÓN
■ DESCRIPCIÓN
■ ENSAYOS

EL BANCO DE ENSAYOS

INTRODUCCIÓN AL BANCO DE ENSAYO

Condiciones de diseño de los bancos de ensayos

Para alcanzar los objetivos de cualquier trabajo de investigación en el campo de la ingeniería mecánica resulta imprescindible disponer de un banco de ensayos sobre el que experimentar los diferentes tipos de elementos mecánicos y su comportamiento.

Será fundamental poder simular sobre el banco diseñado, las condiciones de trabajo del elemento mecánico con la mayor aproximación a las de utilización en planta, para relacionar mejor las medidas realizadas con el elemento mecánico cuando está integrado en una máquina en funcionamiento, con aquellas que se obtengan en el laboratorio.

Cualquier defecto puede ser probado en un banco de ensayos pero, los presentes en rodamientos son unos de los más interesantes a controlar en un equipo mecánico, ya que se trata de uno de los elementos más solicitados de manera constante y críticos en el funcionamiento del mismo.



BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES

ANTERIOR

PARA CONTINUAR



MENÚ PRINCIPAL

- **INTRODUCCIÓN**
- DESCRIPCIÓN
- ENSAYOS


EL BANCO DE ENSAYOS

INTRODUCCIÓN AL BANCO DE ENSAYO

Condiciones de diseño de los bancos de ensayos

La elección de los rodamientos como los elementos objeto de este estudio, entre otras, viene determinado por las siguientes razones:

- La complejidad del elemento.
- Las múltiples y diferentes posibilidades de fallo que presenta.
- Es el elemento mecánico de más presencia en las máquinas rotativas.
- Es el elemento de las máquinas, junto con el cojinete de fricción, que canaliza los esfuerzos dinámicos.
- En la mayor parte de las industrias es el punto clave de control en cualquier programa de mantenimiento.
- El amplio conjunto de normas que regulan su fabricación hace que sean perfectamente intercambiables, independientemente de su marca o procedencia.
- Son de fácil adquisición precisamente por su universalidad.



BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES

ANTERIOR

PARA CONTINUAR



MENÚ PRINCIPAL

- **INTRODUCCIÓN**
- DESCRIPCIÓN
- ENSAYOS

EL BANCO DE ENSAYOS

INTRODUCCIÓN AL BANCO DE ENSAYO

Condiciones de diseño del banco de ensayos

Las características más relevantes que se tuvieron en cuenta a la hora de diseñar el banco de ensayos fueron las que a continuación se señalan.

1. Posibilidad de reproducir las diversas características de trabajo de los rodamientos que se estudien. Para ello, se contará con un sistema de actuación que permita aplicar carga sobre el rodamiento, de forma regulada, tanto axial como radialmente o una combinación de ambas.
2. Sencillez y fiabilidad en la regulación de los esfuerzos que se apliquen al rodamiento que se estudie.
3. El banco deberá contar con la posibilidad de regular adecuadamente y con precisión la velocidad de giro, manteniendo en cada régimen de vueltas seleccionado la adecuada estabilidad.
4. Que el propio diseño del alojamiento del rodamiento permita su montaje y desmontaje con facilidad.
5. Un sistema de medida sencillo y fiable que aporte información sobre el régimen de giro, las cargas o las vibraciones del sistema.
6. La posibilidad de incorporar otros elementos mecánicos al sistema.



BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES

ANTERIOR

PARA CONTINUAR

MENÚ PRINCIPAL

- INTRODUCCIÓN**
- DESCRIPCIÓN
- ENSAYOS

EL BANCO DE ENSAYOS

INTRODUCCIÓN AL BANCO DE ENSAYO

Condiciones de diseño del banco de ensayos

Se diseñaron dos bancos de ensayos destinados a la diagnosis del estado de los rodamientos a ensayar, BR-1 y BR-2 que es el que no ocupa. Se pretende que sean aptos para hacer un estudio de los aspectos de montaje que influyen en ciertos parámetros de los rodamientos y ensayar los diferentes tipos y tamaños de rodamientos.

Los bancos están soportados por estructuras compuestas de perfiles de acero ensamblados, de forma que aporten la adecuada rigidez. La transmisión de potencia del motor al eje del banco de ensayos se puede realizar por acoplamiento directo o por correa.

La idea de estos bancos es que sean **modulares**, es decir, que el banco propiamente es solo la estructura base, dos soportes de rodamiento con el árbol y los elementos de fijación del sistema de carga y alimentación. El sistema de accionamiento (motor, variador de velocidad y acoplamiento o transmisor), el sistema de carga y el sistema de medida son portátiles.

BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES

ANTERIOR

PARA CONTINUAR

MENÚ PRINCIPAL

- INTRODUCCIÓN**
- DESCRIPCIÓN
- ENSAYOS

EL BANCO DE ENSAYOS

INTRODUCCIÓN AL BANCO DE ENSAYO

Condiciones de diseño del banco de ensayos


La estructura de los bancos está diseñada de tal forma que posee una rigidez aceptable, unos coeficientes elevados de amortiguamiento y unas frecuencias propias alejadas de las frecuencias de defecto esperadas, ya sea desequilibrios, desalineaciones, fallos en los rodamientos estudiados, etc.

Primeramente, se diseñó un banco de ensayos de rodamientos de uso general BR-1 para probar rodamientos con un diámetro de agujero de 10 mm a 160 mm, con los adaptadores adecuados. Se implementó el modelo de banco de ensayos en elementos finitos y se comprobó, para diferentes situaciones, mediante un análisis modal que, tanto la estructura como el alojamiento del rodamiento o brida presentan frecuencias naturales alejadas de las que pueden presentar dudas durante el análisis de las vibraciones generadas por fallos en varios tipos de rodamientos.

BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES

ANTERIOR

PARA CONTINUAR



MENÚ PRINCIPAL

- INTRODUCCIÓN
- DESCRIPCIÓN
- ENSAYOS


EL BANCO DE ENSAYOS

INTRODUCCIÓN AL BANCO DE ENSAYO

Condiciones de diseño del banco de ensayos

Tras la fabricación del primero de los bancos de ensayo (BR-1) se verificó su buen comportamiento para rodamientos grandes, sin embargo no era así con los de tamaño inferior a 50 mm, debido al tamaño de los rodamientos de los soportes, originaban vibraciones propias que camuflaban las originadas en los rodamientos a ensayar.

Atendiendo a estas dificultades y teniendo en cuenta que este tamaño de rodamiento son los más empleados en la investigación, por ser muy extendidos y tener una mayor facilidad de manejo, se optó por el diseño y fabricación del banco de ensayos BR-2, que es como hemos dicho el que nos ocupa y que se puede ver sus características y descripción detallada en la sección "descripción" del MNL de la aplicación.



BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES

ANTERIOR

PARA CONTINUAR



MENÚ PRINCIPAL

- INTRODUCCIÓN
- DESCRIPCIÓN
- ENSAYOS

EL BANCO DE ENSAYOS

INTRODUCCIÓN AL BANCO DE ENSAYO

Otros ejemplos de banco de ensayos

Este modelo no es ni mucho menos el único válido para realizar ensayos de este tipo, así podemos tener bancos con actuadores neumáticos para proporcionar la carga, como el perteneciente a la UNED que se muestra aquí.



BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES

ANTERIOR

PARA CONTINUAR



MENÚ PRINCIPAL

- INTRODUCCIÓN
- DESCRIPCIÓN
- ENSAYOS

EL BANCO DE ENSAYOS

INTRODUCCIÓN AL BANCO DE ENSAYO

Otros ejemplos de banco de ensayos

En la imagen siguiente podemos ver un esquema con los elementos que lo componen. El hecho de emplear actuadores neumáticos, tiene la ventaja de una mayor automatización de los ensayos, por el contra, limita su movilidad debido a la necesidad de tener una fuente de aire comprimido a además de conllevar un mayor mantenimiento del banco.



BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES






MENÚ PRINCIPAL

- INTRODUCCIÓN
- DESCRIPCIÓN
- ENSAYOS

EL BANCO DE ENSAYOS

INTRODUCCIÓN AL BANCO DE ENSAYO

Otros ejemplos de banco de ensayos

El siguiente banco de ensayos con múltiples elementos mecánicos, modelo a escala de un reductor industrial real, perteneciente a ENDESA.





Es un banco robusto y muy "cercano a la realidad industrial", pero por ende pesado y de muy difícil traslado.

BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES






MENÚ PRINCIPAL

- INTRODUCCIÓN
- DESCRIPCIÓN
- ENSAYOS

EL BANCO DE ENSAYOS

INTRODUCCIÓN AL BANCO DE ENSAYO

Otros ejemplos de banco de ensayos

Otros bancos mucho más sofisticados y grandes tienen también el problema de la movilidad como por ejemplo el banco que aparece en la siguiente figura.



BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES

 ANTERIOR



MENÚ PRINCIPAL

- INTRODUCCIÓN
- DESCRIPCIÓN
- ENSAYOS

SUBSISTEMAS DEL BANCO



EL BANCO DE ENSAYOS



Haz clic en la imagen para ver el banco desde distintos ángulos.

BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES





EL BANCO DE ENSAYOS

MENÚ PRINCIPAL

- INTRODUCCIÓN
- DESCRIPCIÓN
- ENSAYOS

EL SUBSISTEMA MOTOR

El banco de ensayos BR-2 dispone de un módulo portátil consistente en un motor eléctrico trifásico y de un variador electrónico de velocidad (que efectúa la regulación de la velocidad del motor).







BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES



ANTERIOR



PARA CONTINUAR



EL BANCO DE ENSAYOS

MENÚ PRINCIPAL

- INTRODUCCIÓN
- DESCRIPCIÓN
- ENSAYOS

EL SUBSISTEMA MOTOR

El motor del banco de ensayos es un motor trifásico comercial Siemens de 1,5 kW., rotor en cortocircuito, de 4 polos y 50 Hz. con una velocidad nominal de 1420 r.p.m., cuya velocidad es regulada variando la frecuencia de giro. El par nominal es de 5,23 Nm.







BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES



ANTERIOR



PARA CONTINUAR

MENÚ PRINCIPAL

- INTRODUCCIÓN
- DESCRIPCIÓN
- ENSAYOS

EL BANCO DE ENSAYOS

EL SUBSISTEMA MOTOR

El variador de velocidad es de la firma comercial TOSHIBA, modelo VFNC15, para una tensión de alimentación monofásica de 230 V., con salida a motor de 1,5 kW de 3 x 230 V. y con las correspondientes protecciones internas a cortocircuitos en la salida, fugas a tierra y tensión de red excesiva o transitorios.



[BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES](#)[PARA CONTINUAR](#)

MENÚ PRINCIPAL

- INTRODUCCIÓN
- DESCRIPCIÓN
- ENSAYOS

EL BANCO DE ENSAYOS

EL SUBSISTEMA MOTOR

El variador puede controlar la aceleración y deceleración que son controlados en función de la inercia, llegando a parar si la sobretensión que se produce es excesiva. La frecuencia de la corriente de salida puede modificarse de 0 a 100 Hz. Para conseguir variar la velocidad, alcanzando el motor las 3000 r.p.m.



[BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES](#)[VOLVER](#)



MENÚ PRINCIPAL

- INTRODUCCIÓN
- DESCRIPCIÓN
- ENSAYOS

EL BANCO DE ENSAYOS



SISTEMA MOTOR

SISTEMA ESTRUCTURAL

SISTEMA DE CARGA

SISTEMA TRANSMISIÓN

SISTEMA DE MEDIDA

BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES



MENÚ PRINCIPAL

- INTRODUCCIÓN
- DESCRIPCIÓN
- ENSAYOS

EL BANCO DE ENSAYOS

EL SUBSISTEMA DE TRANSMISIÓN

Los soportes del árbol consisten en rodamientos de bolas, con un tamaño del agujero (y del árbol) de 55 mm

El sistema de transmisión de movimiento del motor al árbol es una transmisión elástica mediante una correa trapezoidal, que minimiza la transmisión de vibraciones desde el motor




BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES



ANTERIOR



PARA CONTINUAR

EL BANCO DE ENSAYOS

MENÚ PRINCIPAL

- INTRODUCCIÓN
- DESCRIPCIÓN
- ENSAYOS

EL SUBSISTEMA DE TRANSMISIÓN

Para el sistema de transmisión se insertó una polea en el eje del motor y se mecanizó directamente el canal en el árbol. Jugando con el tamaño de la polea del motor se podían conseguir relaciones de transmisión más elevadas.



**BANCO DE ENSAYO DE ROZAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES****VOLVER**

EL BANCO DE ENSAYOS

MENÚ PRINCIPAL

- INTRODUCCIÓN
- DESCRIPCIÓN
- ENSAYOS



SISTEMA MOTOR**SISTEMA ESTRUCTURAL****SISTEMA DE CARGA**
SISTEMA TRANSMISIÓN**SISTEMA DE MEDIDA**

**BANCO DE ENSAYO DE ROZAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES**



MENÚ PRINCIPAL

- INTRODUCCIÓN
- DESCRIPCIÓN
- ENSAYOS

EL BANCO DE ENSAYOS

EL SUBSISTEMA ESTRUCTURAL

Se trata de una estructura de máxima sencillez, compuesta de perfiles de acero ensamblados. Esta estructura está diseñada de tal forma que posee una rigidez aceptable, unos coeficientes elevados de amortiguamiento y unas frecuencias propias alejadas de las frecuencias de defecto esperadas, ya sea disequilibrios, desalineaciones, fallos en los rodamientos estudiados, etc.




BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES

VOLVER



MENÚ PRINCIPAL

- INTRODUCCIÓN
- DESCRIPCIÓN
- ENSAYOS

EL BANCO DE ENSAYOS



SISTEMA MOTOR

SISTEMA TRANSMISIÓN

SISTEMA ESTRUCTURAL

SISTEMA DE CARGA

SISTEMA DE MEDIDA

BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES

[MENU PRINCIPAL](#)
[INTRODUCCIÓN](#)
[DESCRIPCIÓN](#)
[ENSAYOS](#)

EL BANCO DE ENSAYOS

EL SUBSISTEMA DE CARGA

El sistema de actuación de la carga sobre el rodamiento se efectúa por medio de dos husillos que actúan radial y axialmente. El control de la carga sobre el rodamiento se realiza mediante dos células de carga con sus respectivos visores.

La regulación se realiza girando el husillo manualmente hasta que el visor indique la carga apropiada al ensayo que se desea realizar.

Se utilizan células de carga con un rango de medidas adecuado para asegurar la precisión adecuada. La célula de carga tiene un rango de carga de 0-1000 Kg. El visor incorpora salida de datos para el ordenador.



 BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES  ANTERIOR  PARA CONTINUAR

[MENU PRINCIPAL](#)
[INTRODUCCIÓN](#)
[DESCRIPCIÓN](#)
[ENSAYOS](#)

EL BANCO DE ENSAYOS

EL SUBSISTEMA DE CARGA

Para evitar que la pista interna del rodamiento deslice sobre la superficie del eje, se ha dispuesto un sistema de fijación mediante un casquillo y un tornillo.

La brida para alojar el rodamiento se diseñó de forma que pueda cambiarse el rodamiento sin grandes esfuerzos y sin necesidad de tener que utilizar herramientas especiales como extractores.

Las frecuencias propias de vibración de la brida, se diseñaron de forma que estas no se encuentren próximas a las frecuencias de defecto esperadas en los rodamientos.



 BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES  VOLVER



MENÚ PRINCIPAL

- INTRODUCCIÓN
- DESCRIPCIÓN
- ENSAYOS

EL BANCO DE ENSAYOS

EL SUBSISTEMA DE MEDIDA

El acelerómetro empleado para registrar las vibraciones es del tipo piezoeléctrico, ya que presenta una menor sensibilidad a las interferencias electromagnéticas. El modelo que se utilizó fue de la Brüel&Kjær, cuyas características principales son:

- Modelo: 4382
- N° serie: 1363439
- Sensibilidad de referencia: $3,17 \text{ pc/ms}^{-2}$
- Sensibilidad transversal: 2.2%
- Frecuencia de resonancia: 27KHz
- Frecuencia de resonancia transversal: 10KHz
- Máxima acción de choque: 20000 m/s^2



La fijación que se utilizó fue mediante una base magnética ya que presenta mayor sencillez en su montaje, pero presentaba el inconveniente de limitar el rango de medida hasta una frecuencia de 3-5 kHz, suficiente para este tipo de medición.

BANCO DE ENSAYO DE ROOAMIBTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES

ANTERIOR

PARA CONTINUAR



MENÚ PRINCIPAL

- INTRODUCCIÓN
- DESCRIPCIÓN
- ENSAYOS

EL BANCO DE ENSAYOS

EL SUBSISTEMA DE MEDIDA

El amplificador de carga empleado para amplificar la señal captada por el acelerómetro, es el modelo 2635 de Brüel&Kjær (Figura 4.6), con un rango de frecuencias que abarca desde 0.1 Hz. hasta 200 kHz. Este amplificador está compuesto por cuatro etapas:

- Amplificador de señal.
- Amplificador con filtro de paso bajo.
- Amplificador integrador.
- Amplificador de salida.



BANCO DE ENSAYO DE ROOAMBIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES

ANTERIOR

PARA CONTINUAR >



MENÚ PRINCIPAL

- INTRODUCCIÓN
- DESCRIPCIÓN
- ENSAYOS

EL BANCO DE ENSAYOS

EL SUBSISTEMA DE MEDIDA

Para captar las medidas de vibraciones se empleó una tarjeta digitalizadora multicanal que transforma las señales analógicas en señales digitales o discretas. El rango de frecuencias del sistema de adquisición de datos abarca desde 0.1 Hz. hasta 1 MHz. El paquete informático de adquisición de datos está constituido por:

- Tarjeta DAS-1200 Series Board, de la marca Keithley, de 8 canales.
- Caja de conexiones multicanal STP-37.
- Bus Keithley que permite la unión de la tarjeta con la computadora.



BANCO DE ENSAYO DE ROOAMBIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES

ANTERIOR

VOLVER





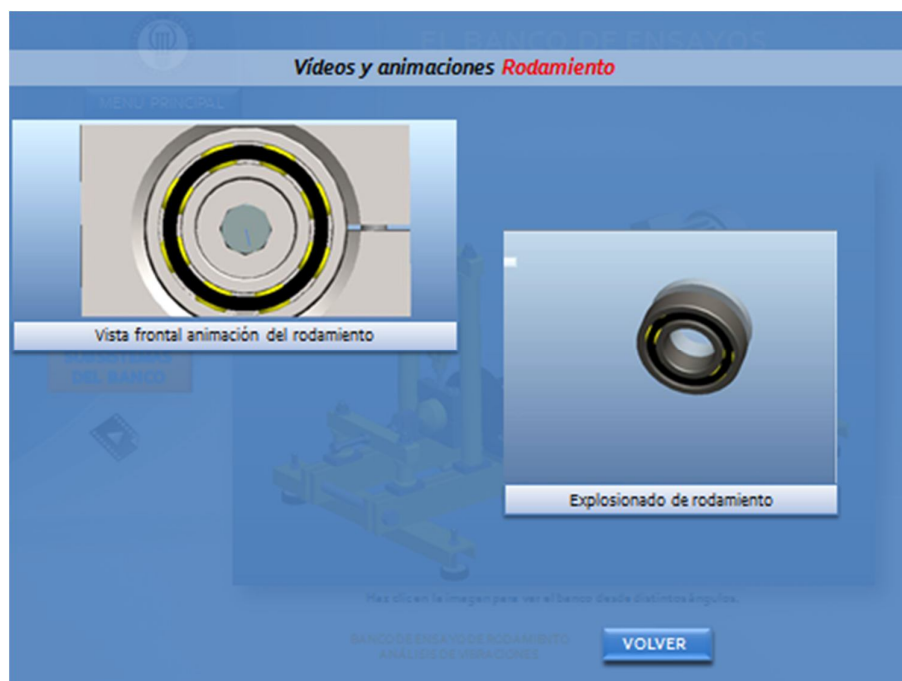












MENÚ PRINCIPAL

- INTRODUCCIÓN
- DESCRIPCIÓN
- **ENSAYOS**

EL BANCO DE ENSAYOS

ENSAYOS EN EL BANCO

Diseño de ensayos

El diseño de los ensayos que se van a realizar, es algo mucho más importante de lo que en un primer momento pueda parecer. En cualquier tipo de ensayo sea cual sea el campo de aplicación genera una ingente cantidad de datos, su correcta denominación, almacenamiento, organización, etc. facilitará el posterior proceso de análisis.

De igual modo en la mayoría de los casos los equipos empleados tienen un coste muy elevado, al igual que las horas de trabajo del personal de investigación, una correcta planificación de los trabajos a realizar aumenta la eficiencia de los activos materiales y humanos intervinientes en los trabajos.

Adicionalmente la reflexión sobre la metodología de trabajo que se va a seguir en el posterior trabajo de campo, ayuda a detectar posibles necesidades y/o problemas que puedan llegar a surgir en los posteriores trabajos de campo, pudiéndose paliar o incluso llegar a evitar.

Planificación

BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES

[PARA CONTINUAR](#)

MENÚ PRINCIPAL

- INTRODUCCIÓN
- DESCRIPCIÓN
- **ENSAYOS**

EL BANCO DE ENSAYOS

ENSAYOS EN EL BANCO

Diseño ensayos para el banco. Selección de Rodamientos

Vamos a mostrar un ejemplo de diseño de ensayo, el primer paso es la selección del rodamiento a ensayar, en este caso se han usado rodamientos de bolas del tipo SKF 6206.

Motivos de la elección:


- ✓ Uso muy extendido.
- ✓ Presenta un fácil despiece.
- ✓ Tiene un tamaño adecuado.
- ✓ La geometría es compleja: se manifiestan todos los fenómenos característicos de este elemento mecánico.

Factores de cálculo
 $k_x = 0,025$
 $f_g = 14$

BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES

[ANTERIOR](#)

[PARA CONTINUAR](#)



MENÚ PRINCIPAL

- INTRODUCCIÓN
- DESCRIPCIÓN
- **ENSAYOS**

EL BANCO DE ENSAYOS

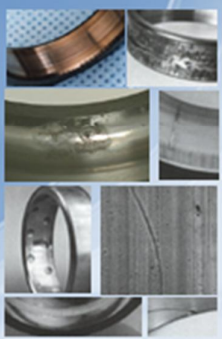
ENSAYOS EN EL BANCO

Diseño ensayos para el banco. Generación de defectos

Para poder caracterizar defectos en los rodamientos se realizaron diferentes tipos de defectos en los rodamientos para poder ver su comportamiento vibratorio.

El proceso seguido para proporcionarles el defecto a los rodamientos fue el siguiente:

1. Se identifica el rodamiento.
2. Se desmonta el rodamiento.
3. Se selecciona el elemento a deteriorar.
4. Se fija el elemento a la mesa de trabajo con un mordaza.
5. Se le proporciona el defecto al elemento.
6. Se desengancha el elemento de la mordaza.
7. Se vuelve a montar el rodamiento.



BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES

ANTERIOR

PARA CONTINUAR



MENÚ PRINCIPAL

- INTRODUCCIÓN
- DESCRIPCIÓN
- **ENSAYOS**

EL BANCO DE ENSAYOS

ENSAYOS EN EL BANCO

Diseño ensayos para el banco. Generación de defectos

Defecto en la pista de rodadura:

- Se efectúa una marca pequeña sobre la pista
- Se mide la distancia a desbastar
- Se realiza una segunda marca
- Se desbasta toda el área de rodadura comprendida entre las dos marcas, asegurando que las bolas pasan a lo largo de toda la longitud del defecto.

Los rodamientos con fallo en la pista interior tendrán defectos variables en extensión (1, 2, 5 y 10 mm.) y severidad:

- **DEFECTO LEVE:** de poca profundidad, equiparable a un desconchado superficial.
- **DEFECTO GRAVE:** más severo que el caso anterior, asegurando un defecto más profundo e irregular en su extensión, emulando un desconchado avanzado.

Defecto en la pista de rodadura:


- Se producen arañazos por toda la superficie de una de las bolas.
- Se desbasta un área localizada de una de las bolas.



BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES


ANTERIOR

PARA CONTINUAR



MENÚ PRINCIPAL

- INTRODUCCIÓN
- DESCRIPCIÓN
- **ENSAYOS**



EL BANCO DE ENSAYOS

ENSAYOS EN EL BANCO

Diseño ensayos para el banco. Ensayos.

Ensayos con defecto en el anillo interior.

- ☐ Defecto leve de tamaño variable. Velocidad y carga fija.
- ☐ Carga axial y radial variable. Velocidad fija y defecto leve de tamaño fijo.
- ☐ Defecto de tamaño variable y velocidad variable. Carga fija y severidad variable.

Ensayos con defecto en el anillo exterior.

- ☐ Localización del defecto variable respecto a la zona de carga. Defecto leve de tamaño fijo, carga fija y velocidad variable.

Ensayos con defecto en una bola.

- ☐ Dos tipos de defecto: arañazos y defecto local en una bola. Carga fija y velocidad variable.

BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES

ANTERIOR

PARA CONTINUAR



MENÚ PRINCIPAL

- INTRODUCCIÓN
- DESCRIPCIÓN
- **ENSAYOS**



EL BANCO DE ENSAYOS

ENSAYOS EN EL BANCO

Diseño ensayos para el banco. Codificación.

Como ya hemos comentado es de vital importancia emplear una adecuada codificación, que contenga, de forma clara y lo más sencilla posible, toda la información que identifique de forma inequívoca los ensayos y toda la información derivada de este.

Codificación de ensayos.

Para nombrar los diferentes archivos contenidos de los ensayos utilizamos una nomenclatura compuesta por un sistema de ocho dígitos.

El primer dígito "E" corresponde a experimental, el cuarto dígito "N" corresponde a un rodamiento de 9 bolas y el séptimo dígito puede ser "S", "I" u "O"; siendo "S" un rodamiento nuevo sin defecto, "I" un rodamiento con defecto en el aro interno y "O" un rodamiento con un defecto en el aro externo.

BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES

ANTERIOR

PARA CONTINUAR





MENÚ PRINCIPAL

- INTRODUCCIÓN
- DESCRIPCIÓN
- **ENSAYOS**



EL BANCO DE ENSAYOS

ENSAYOS EN EL BANCO

Diseño ensayos para el banco. Cálculos previos.


Para la realización de nuestro estudio se deben obtener las frecuencias que cabe esperar según el tipo de defecto que tenga el rodamiento ensayado, que se calculan según las fórmulas ya expuestas. Además, si se supone que la frecuencia de giro del anillo interior es de ω_{in} Hz. (y el anillo exterior es fijo), las frecuencias de defecto para el rodamiento SKF 6206, considerando situaciones ideales, y los datos siguientes, serán:

- Número de bolas $Z=9$
- Ángulo de contacto $\alpha = 0^\circ$
- Diámetro de las bolas $d_b = 9.5$ mm.
- Diámetro medio $d_m = 46$ mm.

BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES


ANTERIOR

PARA CONTINUAR



MENÚ PRINCIPAL

- INTRODUCCIÓN
- DESCRIPCIÓN
- **ENSAYOS**



EL BANCO DE ENSAYOS

ENSAYOS EN EL BANCO

Diseño ensayos para el banco. Cálculos previos.

Para la realización de nuestro estudio se deben obtener las frecuencias que cabe esperar según el tipo de defecto que tenga el rodamiento ensayado, que se calculan según las fórmulas ya expuestas. Además, si se supone que la frecuencia de giro del anillo interior es de ω_{in} Hz. (y el anillo exterior es fijo), las frecuencias de defecto para el rodamiento SKF 6206, considerando situaciones ideales, y los datos siguientes, serán:

Frecuencia de defecto en anillo externo

$$BPFO = \frac{Z \cdot \omega_{in}}{2} \left(1 - \frac{d_b}{d_m} \cos(\alpha) \right) = \frac{9 \cdot \omega_{in}}{2} \left(1 - \frac{9.5}{46} \cos(0^\circ) \right) = \frac{657}{184} \omega_{in} \text{ Hz}$$

Frecuencia de defecto en anillo interno

$$BPFI = \frac{Z \cdot \omega_{in}}{2} \left(1 + \frac{d_b}{d_m} \cos(\alpha) \right) = \frac{9 \cdot \omega_{in}}{2} \left(1 + \frac{9.5}{46} \cos(0^\circ) \right) = \frac{999}{184} \omega_{in} \text{ Hz}$$

Frecuencia de defecto en bola

$$BPF = \frac{Z \cdot \omega_{in}}{2} \left[1 - \left(\frac{d_b}{d_m} \cos(\alpha) \right)^2 \right] = \frac{9 \cdot \omega_{in}}{2} \left[1 - \left(\frac{9.5}{46} \cos(0^\circ) \right)^2 \right] = 4.31 \cdot \omega_{in} \text{ Hz}$$

BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES

ANTERIOR

PARA CONTINUAR

MENÚ PRINCIPAL

- INTRODUCCIÓN
- DESCRIPCIÓN
- **ENSAYOS**

EL BANCO DE ENSAYOS

ENSAYOS EN EL BANCO

Diseño ensayos para el banco. Cálculos previos.

En la siguiente tabla se muestran los armónicos esperados en los espectros correspondientes al rodamiento con defecto en el anillo interno y externo.

FRECUEN- CIAS DE DEFECTO	FRECUENCIA DE GIRO DEL ANILLO INTERIOR				
	5 Hz	10 Hz	20 Hz	30 Hz	40 Hz
BPFO (Hz)	17,85	35,70	71,41	107,12	142,83
BPFI (Hz)	27,15	54,30	108,60	162,88	217,17
BPF (Hz)	21,54	43,10	86,16	129,24	172,32

BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES

ANTERIOR

PARA CONTINUAR

MENÚ PRINCIPAL

- INTRODUCCIÓN
- DESCRIPCIÓN
- **ENSAYOS**

EL BANCO DE ENSAYOS

ENSAYOS EN EL BANCO

Ejemplos de señales obtenidas en ensayos.

Señal temporal de vibración de un rodamiento de 9 bolas, carga 2000N, y $n = 10\text{Hz}$.

BANCO DE ENSAYO DE RODAMIENTO
ANÁLISIS DE VIBRACIONES

ANTERIOR

PARA CONTINUAR

